



Tatiana dos Santos Rocha de Oliveira

Licenciatura em Arquitetura e Urbanismo

ESTUDO SOBRE A PRÁTICA DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS E PROPOSTA METODOLÓGICA DE AVALIAÇÃO DE RISCOS APLICADA NA IRRIGAÇÃO

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território

Orientadora: Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa,
Professora Auxiliar, FCT-UNL

Coorientadora: Prof. Doutora Patrícia Marques Carneiro
Buarque, Professora Adjunta, Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE.

Júri:

Presidente: Prof. Doutor José Carlos Ribeiro Ferreira (arguente)

Vogal(ais): Prof. Doutor Gonçalo Manuel Ferreira dos Santos Antunes
Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



NOVA FCSH
FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2019



Tatiana dos Santos Rocha de Oliveira

Licenciatura em Arquitetura e Urbanismo

ESTUDO SOBRE A PRÁTICA DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS E PROPOSTA METODOLÓGICA DE AVALIAÇÃO DE RISCOS APLICADA NA IRRIGAÇÃO

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território

Orientadora: Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa,
Professora Auxiliar, FCT-UNL

Coorientadora: Prof. Doutora Patrícia Marques Carneiro
Buarque, Professora Adjunta, Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE.

Júri:

Presidente: Prof. Doutor José Carlos Ribeiro Ferreira (arguente)

Vogal(ais): Prof. Doutor Gonçalo Manuel Ferreira dos Santos Antunes
Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



NOVA FCSH
FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2019

Estudo sobre a Prática do Reúso de Águas Residuais Urbanas Tratadas e Proposta Metodológica de Avaliação de Riscos Aplicada na Irrigação

© Copyright, 2019, Tatiana dos Santos Rocha de Oliveira, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e Universidade Nova de Lisboa. Todos os direitos reservados.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

O presente trabalho utiliza a Língua Portuguesa na versão escrita no Brasil, obedecendo o novo acordo ortográfico de 1990, o qual entrou em vigor também em Portugal desde 13 de maio de 2009, com o objetivo de obter reconhecimento de universidades brasileiras.

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não seria possível a concretização.

Primeiramente agradeço à Deus pela minha saúde e oportunidade de obter novos conhecimentos, seja culturais ou intelectuais, durante todo o percurso deste mestrado.

Agradeço também à professora Rita Maurício pela disponibilidade em acompanhar-me na orientação deste trabalho e pelas palavras de incentivo.

À professora Patrícia Buarque expresso meu agradecimento pelo acompanhamento na coorientação deste trabalho e por motivar-me ao compartilharmos experiências durante nossas gestações ao longo deste processo de estudo.

Ao professor Ronald Pessoa, agradeço pela atenção e pela disponibilização de extenso material que enriqueceu minhas pesquisas ao longo deste trabalho.

À engenheira ambiental, Carla Maísa, agradeço pelo grande incentivo e pelas palavras motivadoras.

Agradeço aos profissionais da SEUMA e CAGECE que estiveram disponíveis em ajudar-me com material e dados dos respectivos órgãos de forma célere.

Ao meu esposo, Alexandre Nunes, expresso especial agradecimento pelo apoio diário, por ser meu maior exemplo de determinação e resiliência nos estudos e na vida profissional, e por acreditar em mim até nos momentos de insegurança.

Ao meu filho Theo, agradeço por ter sido meu porto seguro durante toda a gestação e concepção deste trabalho.

À minha família, que sempre foi meu meu alicerce, toda a minha gratidão. Agradeço pelo apoio e motivação ao longo deste percurso acadêmico, apesar de estarem no Brasil.

Aos amigos do Mestrado em Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território, que após a conclusão das disciplinas continuaram presentes em minha vida e compartilharam comigo angústias, opiniões e conquistas ao longo do processo de pesquisas.

Enfim, agradeço a todas as pessoas envolvidas direta e indiretamente para a realização deste trabalho, as quais contribuíram de alguma forma com informações, conhecimentos e palavras de apoio.

Resumo

A reutilização de águas residuais urbanas para diversos fins tem sido considerada um princípio de grande relevância na gestão sustentável dos recursos hídricos. Os serviços de abastecimento público de água e o saneamento das águas residuais urbanas se voltam para questões associadas à conservação dos recursos naturais e o uso eficiente, ainda que essa preocupação não seja disseminada de forma global.

A crescente escassez hídrica e as alterações climáticas, como um todo, apontam para a necessidade de se adotar soluções viáveis tanto no aspecto ambiental como financeiro. Nesse sentido, a versatilidade da utilização das águas residuais urbanas para usos não potáveis no meio urbano passa a compor uma importante estratégia na gestão integrada dos recursos hídricos.

Dessa forma, buscou-se neste trabalho, por meio de um referencial teórico sobre a gestão dos recursos hídricos no meio urbano, abordar as possíveis aplicações para a utilização de águas residuais urbanas tratadas, com destaque para usos não potáveis, nomeadamente uso para rega agrícola e paisagística no contexto das infraestruturas verdes urbanas. Aliado à dessa abordagem, são apresentados alguns exemplos da utilização de águas residuais, assim como algumas normatizações relevantes no contexto mundial, em Portugal e no Brasil, de forma mais detalhada.

Através da elucidação dos efeitos positivos e negativos nos âmbitos social e ambiental, associados à utilização de águas residuais tratadas e pela análise das normatizações que servem como balizadoras na gestão dos recursos hídricos, é feita uma proposta metodológica de Avaliação de Riscos por meio de uma simulação baseada em um Parque público situado em Fortaleza-CE, Brasil.

Palavras-chave: Águas residuais urbanas, rega agrícola e paisagística, normatizações, avaliação de riscos.

ABSTRACT

The reuse of urban wastewater for various purposes has been considered a very important principle in the sustainable management of water resources. Public water services and urban wastewater sanitation address issues associated with the conservation of natural resources and efficient use, although this concern is not widespread globally.

Increasing water scarcity and climate change, as a whole, point to the need for viable environmental and financial solutions. In this sense, the versatility of the use of urban wastewater for non-potable uses in the urban environment becomes an important strategy in the integrated management of water resources.

Thus, we sought, through a theoretical framework on the management of water resources in urban areas, to address the possible applications for the use of treated urban wastewater, especially non-potable uses, namely the use for agricultural and landscape irrigation in the context of urban green infrastructures. Together with this approach, some examples of wastewater use are presented, as well as some relevant standards in the world context, in Portugal and Brazil, in more detail.

Through the elucidation of the positive and negative effects in the social and environmental spheres, associated with the use of treated wastewater and the analysis of the standards that serve as guidelines for the management of water resources, a methodological proposal of risk assessment was made through a simulation based in a public park located in Fortaleza-CE, Brazil.

Keywords: Urban wastewater, agricultural and landscape irrigation, standardization, risk assessment.

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Estrutura da dissertação.....	3
2.	Objetivos.....	5
2.1	Objetivo geral.....	5
2.2	Objetivos específicos.....	5
3.	Revisão Bibliográfica	7
3.1	Águas residuais urbanas: definição e composição	7
3.2	Classificação das águas residuais urbanas segundo os possíveis usos.....	12
3.3	Tratamento de águas residuais urbanas.....	14
3.3.1	Processos de tratamento e desinfecção de águas residuais urbanas.....	15
3.4	Importância da reutilização de águas residuais	19
3.4.1	Alterações Climáticas	23
3.4.1.1	Mudança climática e os sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais...	24
3.5	Experiências mundiais de reutilização de água residual	27
3.5.1	Projeto SWITCH	27
3.5.1.1	Lima, Peru	27
3.5.1.2	Accra, Gana.....	28
3.5.1.3	Łódź, Polónia	29
3.5.1.4	Chengdu, China.....	29
3.5.1.5	Tel Aviv, Israel	30
3.6	Normatização internacional sobre gestão de recursos hídricos com destaque para o reúso 30	
3.6.1	Brasil.....	34
3.6.2	Portugal	39
3.7	Conceitos que estruturam a Avaliação de Riscos.....	42
3.7.1	Tipologia dos resíduos, potenciais perigos e eventos perigosos.....	43
3.7.2	Vias de exposição e de transmissão	45
3.7.3	Medidas de controle	46
3.7.4	Monitorização	47
3.8	Avaliação de Riscos	48
3.8.1	Efeitos sociais.....	52
3.8.2	Efeitos ambientais	61
4.	Metodologia	65
4.1	Tipologias de Avaliação de Riscos.....	66
4.1.1	Avaliação qualitativa do risco	66
4.1.2	Avaliação semi-quantitativa do risco	67
4.1.2.1	Matriz da avaliação semi-quantitativa do risco.....	68

4.1.3	Avaliação quantitativa de risco microbiológico (<i>Quantitative microbial risk assessment – QMRA</i>)	68
4.2	Comparação das abordagens que guiam a Avaliação de Riscos para apoiar a gestão da segurança hídrica	69
5.	Simulação de Avaliação de Riscos baseada no uso de ARUT no Parque Público Rachel de Queiroz	72
5.1	Contexto geral do Esgotamento Sanitário na cidade de Fortaleza - CE	72
5.2	Parque Rachel de Queiroz	73
5.2.1	Gestão dos recursos hídricos do Parque Rachel de Queiroz	76
5.2.1.1	Sistemas de Wetlands	77
5.3	Simulação de avaliação de riscos pelo método semi-quantitativo	79
6.	Conclusões	86
	Referências Bibliográficas	88

Índice de Figuras

Figura 1.1: Aqueduto romano – Pont du Gard, France	2
Figura 3.1: Processo linear versus Processo cíclico de gestão das águas residuais domésticas	10
Figura 3.2: Correntes de águas residuais domésticas	11
Figura 3.3: Distribuição dos principais constituintes das águas residuais domésticas, excluídas as águas pluviais.....	12
Figura 3.4: Fluxograma com algumas possíveis aplicações para reúso direto de águas residuais tratadas.....	14
Figura 3.5: Esquema genérico de tratamento de águas residuais.....	16
Figura 3.6: Crescimento demográfico (em milhões) no mundo em desenvolvimento de 1950-2050..	20
Figura 3.7: Gestão de resíduos urbanos, percentagem por região	21
Figura 3.8: Impactos da mudança climática nos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais	25
Figura 3.9: Impactos da mudança climática em um contexto de múltiplos desafios	26
Figura 3.10: Antecedentes baseados na perspectiva europeia	31
Figura 3.11: Países que têm a ISO/TC 282 como referência	32
Figura 3.12: Estrutura da ISO/TC 282	33
Figura 3.13: Vias de exposição a microrganismos patogênicos em sistemas de reutilização de águas residuais tratadas	58
Figura 5.1: Mapa da área de intervenção do Parque Rachel de Queiroz.....	75
Figura 5.2: Parque Rachel de Queiroz	75
Figura 5.3: Delimitação do Parque Rachel de Queiroz com ETE's adjacentes.....	76
Figura 5.4: Trecho 06 - Zona (em amarelo) do projeto onde serão feitas Wetlands	77
Figura 5.5: Cortes esquemáticos de funcionamento do sistema de Wetlands	78
Figura 5.6: Trecho 06 – Projeto das Wetlands em programa de modelagem 3D.....	78

Índice de Quadros

Quadro 3.1: Características físicas, químicas e biológicas das águas residuais e suas origens	7
Quadro 3.2: Contaminantes importantes para ter atenção no tratamento de águas residuais	8
Quadro 3.3: Abordagem convencional e integrada no manejo das águas residuais domésticas	9
Quadro 3.4: Tipos de reúso direto para águas residuais	13
Quadro 3.5: Classificação de etapas utilizadas para tratamento de águas residuais	16
Quadro 3.6: Eficiência de remoção microbiana por processo de tratamento de águas residuais	17
Quadro 3.7: Eficiência de remoção de poluentes químicos submetidos a tratamento primário, secundário, terciário e avançado	18
Quadro 3.8: Recuperação e reutilização de água: justificativa, benefícios potenciais e fatores que impulsionam seu uso futuro.....	22
Quadro 3.9: Classificação das águas de reúso e seus principais usos	35
Quadro 3.10: Critério de qualidade da água de reúso	35
Quadro 3.11: Legislações estaduais e municipais sobre reúso de águas	36
Quadro 3.12: Padrões de lançamentos de efluentes	38
Quadro 3.13: Valores típicos de alguns parâmetros característicos para diferentes tipos de águas residuais urbanas	40
Quadro 3.14: Critérios de qualidade recomendados para reutilização de águas residuais tratadas para rega agrícola e paisagística em Portugal.....	41
Quadro 3.15: Frações dos resíduos e potenciais perigos para a saúde.....	44
Quadro 3.16: Vias de exposição e de transmissão relevantes	45
Quadro 3.17: Medidas de controle	46
Quadro 3.18: Medidas de controle relacionadas com o tratamento de águas residuais	47
Quadro 3.19: Exemplo de Resumo do plano de monitorização operacional para medidas de controle	48
Quadro 3.20: Estrutura de Análise de Riscos	48
Quadro 3.21: Principais patógenos detectados nas águas residuais	53
Quadro 3.22: Características epidemiológicas dos diferentes tipos de microrganismos patogênicos presentes nas águas residuais urbanas.....	54
Quadro 3.23: Resumo de riscos microbiológicos para a saúde associados ao uso de águas residuais para rega	55
Quadro 3.24: Parâmetros de exposição do contato humano com águas residuais tratadas	56
Quadro 3.25: Reduções de patógenos atingidas por várias medidas de proteção à saúde	59
Quadro 3.26: Concentração máxima tolerada no solo de vários elementos químicos e compostos orgânicos baseada na proteção à saúde humana	60
Quadro 3.27: Qualidades das águas destinadas à rega	62
Quadro 3.28: Características das águas residuais que mais afetam o biossistema solo-planta.....	64
Quadro 4.1: Classificação do risco, em níveis, e sua descrição	66
Quadro 4.2: Níveis de probabilidade e severidade para o risco	67

Quadro 4.3: Cruzamento dos valores de probabilidade e severidade para obter níveis de risco	68
Quadro 4.4: Abordagens de avaliação de riscos	69
Quadro 5.1: Simulação de avaliação de riscos pelo método semi-quantitativo adaptado do Planeamento da Segurança do Saneamento	79
Quadro 5.2: Grupos expostos ao risco	83
Quadro 5.3: Descrição para a avaliação semi-quantitativa do risco	83
Quadro 5.4: - Níveis de risco baseados no produto da probabilidade com a severidade	84

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

ANA – Agência Nacional de Águas

AQRQ - Avaliação Quantitativa de Risco Químico

ARUT– Águas Residuais Urbanas Tratadas

CAGECE – Companhia de Água e Esgotos do Ceará

CBO – Carência Bioquímica de Oxigênio

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CQO – Carência Química de Oxigênio

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

EE – Estação elevatória

EPA - United States Environmental Protection Agency

EPC – Estação de Pré Condicionamento

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

ETEs – Estações de Tratamento de Esgoto

ETO – Estação de Tratamento de Odores

EUA – Estados Unidos da América

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

GEE – Gases de efeito estufa

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

ISO - International Organization Standardization

OMS – Organização Mundial da Saúde

PMF – Prefeitura Municipal de Fortaleza

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PSS – Sanitation Safety Planning

RMF – Região Metropolitana de Fortaleza

SDOES - Sistema de Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários de Fortaleza

SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente

SEUMA – Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente

TWW – Treated wastewater

USEPA – United States Environmental Protection Agency

VMR – Valor máximo recomendado

VMA – Valor máximo admissível

WHO - World Health Organization

" Poverty can never be eradicated, or even greatly reduced, as long as so many millions of people cannot access safe water and so many billions are living in environments contaminated by faeces. Sanitation, together with hygiene, must be given a much higher place in any agenda for future development and must be urgently and frankly addressed." Margaret Chan, WHO Director General

1. Introdução

A noção de um ambiente urbano sustentável se apoia na premissa de que a relação de uma cidade com o meio ambiente é mais complexa que a simples utilização de recursos e o descarte dos resíduos, haja vista a influência direta no contexto ambiental, social e econômico (Novotny *et al.*, 2010).

O planejamento para o futuro incerto das cidades tem sido cada vez mais desafiador em virtude do aumento da pressão da urbanização, a procura de alimentos e a escassez de água, o que certifica a ligação entre a gestão dos recursos hídricos com outros setores do planejamento físico urbano. Nesse panorama, é importante o destaque para a gestão sustentável da água, o que implica a conservação desse recurso, além de considerar cada vez mais a sua reutilização como componente estratégica importante. Sabe-se, entretanto, que de forma global existem muitos contextos políticos fragmentados e com pouco suporte ao segmento da saúde pública e ambiente. Dessa forma, fica clara a necessidade de uma gestão sustentável da água pautada na ampliação de benefícios e diminuição de riscos, o que consequentemente vai possibilitar maior confiança no desempenho do sistema pelos *stakeholders* envolvidos (WHO, 2015).

Em relação ao suporte insatisfatório à saúde pública e ao ambiente, Lofrano e Brown (2010) criticam o fato de muitos países em desenvolvimento não terem implementado as práticas de gerenciamento de águas residuais por motivos de corrupção ou por má gestão dos recursos financeiros. Estes autores alertam ainda que para melhorar o saneamento e a gestão de resíduos nestes países é necessário evoluir tecnologicamente. Em contrapartida, vale ressaltar que os americanos desenvolveram uma metodologia de gerenciamento de resíduos a partir da criação da Lei de Prevenção da Poluição de 1990, onde a prevenção e a redução da poluição tornaram-se prioridade como uma estratégia de gestão mais favorável do que o tratamento ou o descarte (Mihelcic *et al.*, 2003).

Pahl-Wostl *et al.* (2011) afirmam que nos séculos XIX e XX a gestão dos recursos hídricos era focada em resolver problemas bem definidos, que se tornavam urgentes com o aumento das populações urbanas e da produtividade industrial e agrícola. Com o crescente adensamento nas cidades, Angelakis e Snyder (2015) relatam que há muito tempo os grandes centros urbanos tinham a prática de desviar as águas residuais não tratadas, destinando-as às áreas periféricas. Nesse contexto, Pahl-Wostl *et al.* (2011) destacam também que com o surgimento dos problemas de saúde e higiene nas cidades, foram realizados grandes esforços para gerenciar a qualidade da água urbana e garantir uma confiabilidade no seu fornecimento.

Lofrano e Brown (2010) entendem que a história relacionada ao gerenciamento de águas residuais urbanas surge associada à ecologia, ao descarte de águas a às tradições sociais e culturais. Nesse sentido, para chegarmos às necessidades atuais de uma nova abordagem para a gestão da água urbana é importante considerar o processo evolutivo que culminou em mudanças indispensáveis. Segundo Novotny *et al.* (2010), este processo iniciou com a utilização de poços locais para o abastecimento de água e pela exploração de corpos de água que favoreciam o acesso para os transportes, lavagem e irrigação. As ruas tinham a função de atender o transporte das pessoas, dos

resíduos e das águas pluviais. À medida que as cidades cresciam e os poços locais já não conseguiam suprir o fornecimento de água, projetos mais aprimorados permitiam o transporte da água pelo sistema subterrâneo de distribuição. Em seguida, foram desenvolvidos sistemas extensos de distribuição de água que dependiam de poços e estruturas elaboradas que forneciam água potável vinda de montanhas, surgindo neste período os aquedutos romanos (Figura 1.1). Contudo, as águas residuais ainda não eram motivo de preocupação e para resolver a poluição causada pelo escoamento de águas residuais de banhos dos prédios públicos, foram construídas redes que direcionavam estas águas aos rios mais próximos. Com a chegada da Revolução Industrial, ocorreram grandes correntes migratórias, resultando consequentemente na expansão das cidades e no aumento da poluição. Neste período, as indústrias despejavam os efluentes nos corpos hídricos que serviam tanto para o descarte das águas residuais como para o abastecimento de água potável e de poço, o que provocou a epidemia de doenças transmitidas pela água. No final do século XIX foram construídos sistemas combinados de águas residuais e tratamento de água potável como forma de resolver a poluição das águas. O tratamento das águas residuais era limitado à sedimentação e “auto-purificação” nas massas de água receptoras. Já no final do século XX, foram investidos muitos recursos para a construção de estações de tratamento para obter água potável e serviços de tratamento de águas residuais. Nos dias atuais, o foco está nas ecocidades hídricas, onde considera-se a água como a linha de vida destas cidades e cujo objetivo é a criação de ambientes mais sustentáveis.



Figura 1.1: Aqueduto romano – Pont du Gard, France (Lofrano & Brown, 2010)

A partir da abordagem mais atual sobre a gestão de água, é possível compreender que os efluentes já não são considerados apenas resíduos. As águas residuais apresentam-se como recursos diante da possibilidade de recuperação de água, energia, nutrientes e outros subprodutos. Dessa forma, a reutilização de águas residuais contribui para a preservação da água potável e na redução de poluentes no ambiente. Esta nova abordagem que incorpora os princípios de sustentabilidade, ética ambiental e participação pública tem sido impulsionada, portanto, pelos impactos sociais, econômicos e ambientais das práticas históricas de desenvolvimento dos recursos hídricos acompanhadas das inevitáveis perspectivas de escassez hídrica, com o intuito de atender as necessidades de água das gerações presentes e futuras de forma equitativa. (Novotny et al., 2010, e Metcalf & Eddy, 2007). Contudo,

Hespanhol (2008) destaca que melhorias na conservação e na reutilização de água ainda devem ser realizadas, no intuito de diminuir os custos e os impactos ambientais associados aos novos projetos.

Atualmente existe um aumento significativo do planejamento de projetos para tratamento de águas residuais e para reutilização de efluentes em vários países. Dentre as principais reutilizações destas águas tratadas destacam-se os usos: para irrigação (agrícola e espaços verdes¹), nas indústrias, para recarga de aquíferos, para barreiras da água do mar e em sistemas de distribuição para descarga de vasos sanitários (Angelakis & Snyder, 2015). A questão de investigação deste trabalho, resume-se portanto, em como é possível contribuir para a aplicação do uso de águas residuais urbanas tratadas na irrigação de forma segura.

1.1 Estrutura da dissertação

O presente trabalho encontra-se subdividido com os respectivos conteúdos:

1. Introdução que considera a gestão de recursos hídricos como um dos pontos fundamentais para o planejamento urbano, além de um apanhado histórico dos séculos XIX e XX no que se refere a evolução da gestão de recursos hídricos.
2. Objetivos geral e específicos
3. Revisão Bibliográfica a qual considera as águas residuais urbanas relativamente a sua definição, classificação de usos, métodos de tratamento, importância quanto à reutilização, referências mundiais na reutilização, normatização para gestão de recursos hídricos, conceitos de Avaliação de Riscos e Avaliação de Riscos sociais e ambientais.
4. Metodologia onde define-se o processo para a concepção deste trabalho, assim como os métodos aplicados aos estudos de avaliação de risco e o modelo escolhido para a aplicação prática no estudo de caso.
5. Simulação de Avaliação de Riscos, através do método definido na metodologia, para a reutilização de águas residuais urbanas tratadas em um Parque Público situado em Fortaleza-CE, Brasil, caracterização do esgotamento sanitário na cidade em questão e descrição da gestão dos recursos hídricos no Parque definido.
6. Conclusões
7. Referências bibliográficas

¹ O conceito de espaço verde urbano é classificado como áreas naturais em meio urbano, as quais têm função de estadia, locais de encontro ou passeio público. O conceito não deve ser confundido como estrutura verde, pois essa designação tem um caráter mais abrangente posto que refere-se a um sistema de elementos naturais e culturais, que possui funções na gestão da água, microclima urbano e na biodiversidade, mas também funciona como infraestrutura para o lazer, relaxamento, interação humana, além de outras atividades sociais (Fulgêncio, 2001 e Werquin et al., 2005, citados por Quintas, A.V., 2014).

2. Objetivos

Nesta secção estão apresentados os objetivos geral e específicos deste trabalho.

2.1 Objetivo geral

Contribuir para o estudo da reutilização de águas residuais urbanas tratadas em usos não potáveis, nomeadamente uso para rega no contexto das infraestruturas verdes urbanas.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar possíveis efeitos positivos e negativos, a nível social e ambiental, resultantes da utilização de águas residuais tratadas;
- Confrontar as legislações e regulamentos existentes no âmbito desta temática;
- Avaliar o risco associado à utilização de águas residuais tratadas;
- Propor uma metodologia de Avaliação de Riscos para águas residuais tratadas, na perspectiva do uso para rega.

3. Revisão Bibliográfica

Nesta secção serão apresentados assuntos referentes às águas residuais urbanas, relativamente a sua definição, composição, possíveis usos e processos de tratamentos.

3.1 Águas residuais urbanas: definição e composição

As águas residuais configuram as águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais pluviais e industriais coletadas para a rede de drenagem pública. No que se refere à composição, águas residuais podem conter substâncias orgânicas e inorgânicas, as quais apresentam-se dissolvidas e suspensas na água proveniente de uma série de processos e usos, tais como aquelas oriundas de tratamento para abastecimento público, efluentes industriais e domésticos (Monte & Albuquerque, 2010).

O quadro abaixo demonstra a caracterização das águas residuais e suas origens com o apoio de parâmetros físicos, químicos e biológicos, através de indicadores que compreendem as características e os principais meios de procedência. No que se refere a procedência, é possível constatar que a maioria dos parâmetros da tabela correspondem a águas residuais oriundas do meio doméstico.

Quadro 3.1: Características físicas, químicas e biológicas das águas residuais e suas origens (Metcalf & Eddy, 1991)

Características	Origens
Físicas	
Cor	Resíduos domésticos e industriais, decomposição de matéria orgânica.
Cheiro	Decomposição das substâncias dissolvidas e em suspensão.
Temperatura	Águas residuais domésticas e industriais.
Sólidos	Água de abastecimento, águas residuais domésticas e industriais, erosão do solo, infiltração nos coletores.
Químicas Orgânicas	
Carbo-hidratos	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Proteínas	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Óleos e gorduras	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Detergentes	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Pesticidas	Resíduos agrícolas.
Fenóis	Águas residuais industriais.
Compostos voláteis	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Poluentes prioritários*	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Inorgânicas	
Alcalinidade	Águas residuais domésticas, água potável, água subterrânea infiltrada.
Cloretos	Águas residuais domésticas, água potável, água subterrânea infiltrada.
Metais pesados	Águas residuais industriais.

Continua ...

Características	Origens
Azoto	Águas residuais domésticas e escoamentos agro-pecuários.
Fósforo	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais; escoamentos naturais.
pH	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Enxofre	Água de abastecimento, águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Poluentes prioritários	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Gases	
Ácido sulfídrico	Decomposição de águas residuais domésticas.
Metano	Decomposição de águas residuais domésticas.
Oxigênio	Água do abastecimento público, infiltração de águas superficiais.
Biológicas	
Animais	Cursos de água e ETAR.
Plantas	Cursos de água e ETAR.
Bactérias	Águas residuais domésticas, infiltração de águas superficiais, ETAR.
Vírus	Águas residuais domésticas.

*Compostos orgânicos e inorgânicos que se sabe ou se suspeita serem carcinogênicos, mutagênicos, teratogênicos ou de toxicidade aguda.

Dentre as substâncias que se apresentam dissolvidas e suspensas na água, os contaminantes detalhados no quadro 3.2 constituem consequências adversas ao meio hídrico. Se as águas residuais forem destinadas ao reúso, é imprescindível o tratamento adequado para a remoção dessas substâncias nocivas.

Quadro 3.2: Contaminantes importantes para ter atenção no tratamento de águas residuais (Metcalf & Eddy, 1991)

Contaminantes	Razão para importância
Sólidos em suspensão	Os sólidos suspensos podem levar ao desenvolvimento de depósitos de lodo e condições anaeróbicas quando a água residual não tratada é descarregada no ambiente aquático.
Orgânicos biodegradáveis	Composto principalmente por proteínas, carboidratos e gorduras, os orgânicos biodegradáveis são medidos com mais frequência em termos de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). Se descarregadas sem tratamento para o meio ambiente, sua estabilização biológica pode levar ao esgotamento dos recursos naturais de oxigênio e ao desenvolvimento de condições sépticas.
Patógenos	As doenças transmissíveis podem ser transmitidas pelos organismos patogênicos das águas residuais.

Continua ...

Contaminantes	Razão para importância
Nutrientes	Tanto o nitrogênio quanto o fósforo, juntamente com o carbono, são nutrientes essenciais para o crescimento. Quando descarregados para o meio aquático, esses nutrientes podem levar ao crescimento da vida aquática indesejável. Quando descarregados em quantidades excessivas em terra, eles também podem levar à poluição das águas subterrâneas.
Orgânicos refratários	Estes orgânicos tendem a resistir aos métodos convencionais de tratamento de águas residuais. Exemplos típicos incluem surfactantes, fenóis e pesticidas agrícolas.
Metais pesados	Metais pesados são geralmente adicionados às águas residuais de atividades comerciais e industriais e podem ter que ser removidos se as águas residuais forem reutilizadas.
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Constituintes inorgânicos, como cálcio, sódio e sulfato, são adicionados ao suprimento de água doméstica original como resultado do uso da água e podem ter que ser removidos se as águas residuais forem reutilizadas.

A fim de estabelecer uma comparação clara sobre a evolução das abordagens de gestão dos recursos hídricos, contempladas na introdução deste trabalho, o quadro que segue mostra as principais diferenças entre as abordagens convencional e integrada no manejo de águas residuais domésticas.

Quadro 3.3: Abordagem convencional e integrada no manejo das águas residuais domésticas (Adaptado de Philip, Anton, Sallian, & Loftus, 2011)

Aspectos do manejo das águas residuais domésticas	Abordagem convencional (manejo como um processo linear)	Abordagem integrada (manejo como um processo cíclico)
Recolha	Fezes, urina, águas cinzas e águas pluviais são combinadas e transportadas por uma rede de coletores de água residual (no caso do sistema unitário) para uma estação de tratamento de água residual centralizada.	Fezes, urina, águas cinzas e águas pluviais são coletadas separadamente e geridas em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).
Tratamento	Tratamento centralizado, combinando os vários tipos de águas residuais domésticas e baseado em infra-estrutura e tecnologias intensivas no uso de energia e químicos.	Os elementos separados das águas residuais domésticas são tratados com tecnologias alternativas, descentralizada e sistemas naturais.
Efluentes tratados	Efluentes tratados são lançados em corpos receptores, tais como rios, lagos e estuários.	Efluentes tratados são reutilizados localmente para fins não potáveis.
Nutrientes	Nutrientes tem sua disposição final no ambiente, principalmente na forma de lamas.	Nutrientes são reciclados e reutilizados localmente por meio da reciclagem da urina e da produção de biosólidos a partir das lamas.

Continua ...

Aspectos do manejo das águas residuais domésticas	Abordagem convencional (manejo como um processo linear)	Abordagem integrada (manejo como um processo cíclico)
Subproduto das lamas	O subproduto das lamas é eliminado nos aterros ou incinerado.	As lamas são digeridas para a geração de biogás e convertido em biosólidos para ser usado como fertilizante e corretivo de solos.
Consumo de energia	Grandes quantidades de energia são usadas no tratamento e no bombeamento.	O consumo de energia é minimizado por meio do uso de processos de tratamentos naturais.

A análise do quadro 3.3 possibilita a compreensão de que o processo linear de manejo não traz benefícios ao ambiente em virtude da consequente poluição. O processo cíclico, em contrapartida, apoia-se nos princípios da sustentabilidade onde o resíduo passa a ser considerado recurso, resultando na mitigação dos impactos ambientais e direcionando ao processo de economia circular.

A figura abaixo demonstra, de forma esquemática, o processo linear versus o processo cíclico de gestão de águas residuais domésticas. A abordagem integrada melhora o desempenho do tratamento, permite que os recursos sejam reciclados de forma mais eficiente e reduz os custos ao longo do processo, conforme os pressupostos da economia circular.

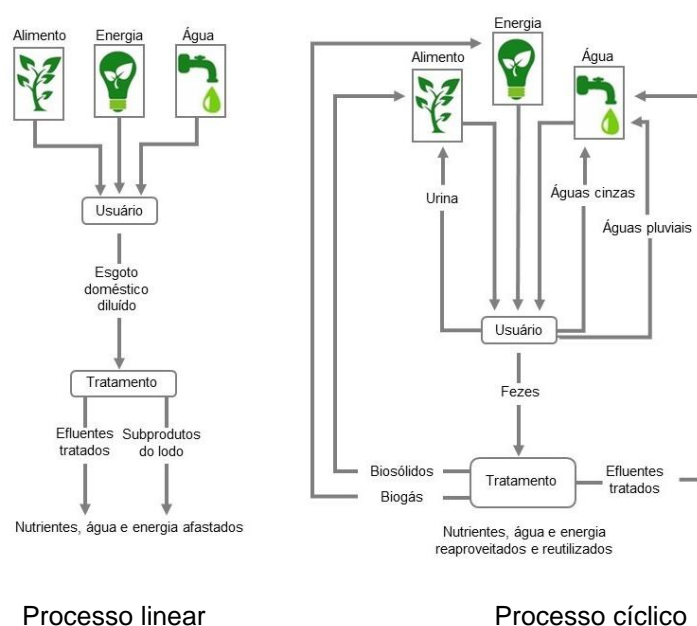


Figura 3.1: Processo linear versus Processo cíclico de gestão das águas residuais domésticas (Adaptado de Philip et al.2011)

Considerando que a gestão das águas residuais domésticas urbanas envolve coleta, transporte, tratamento e reutilização ou eliminação de efluentes com características diversas, Tilley et al. (2008) citado por Philip et al. (2011) definem as seguintes categorias:

- **Fezes:** (semi-sólidos) excrementos sem urina ou água;
- **Urina:** resíduos líquidos produzidos pelo corpo para eliminar uréia ou resíduos de outros produtos;

- Água da descarga: água utilizada para transportar excretas do ambiente do usuário para a tecnologia seguinte, ou seja, o dispositivo seguinte de manejo;
- Água negra: mistura de urina, fezes e da água da descarga;
- Águas cinzas: o volume total de águas residuais provenientes de lavagem de alimentos, roupas, louças, da pia do banheiro assim como dos originários do banho;
- Águas pluviais: termo geral para designar a água da chuva coletada em coberturas, vias e outras superfícies, antes que a água atinja os meios receptores.

A figura esquemática seguinte demonstra a configuração das águas residuais domésticas:

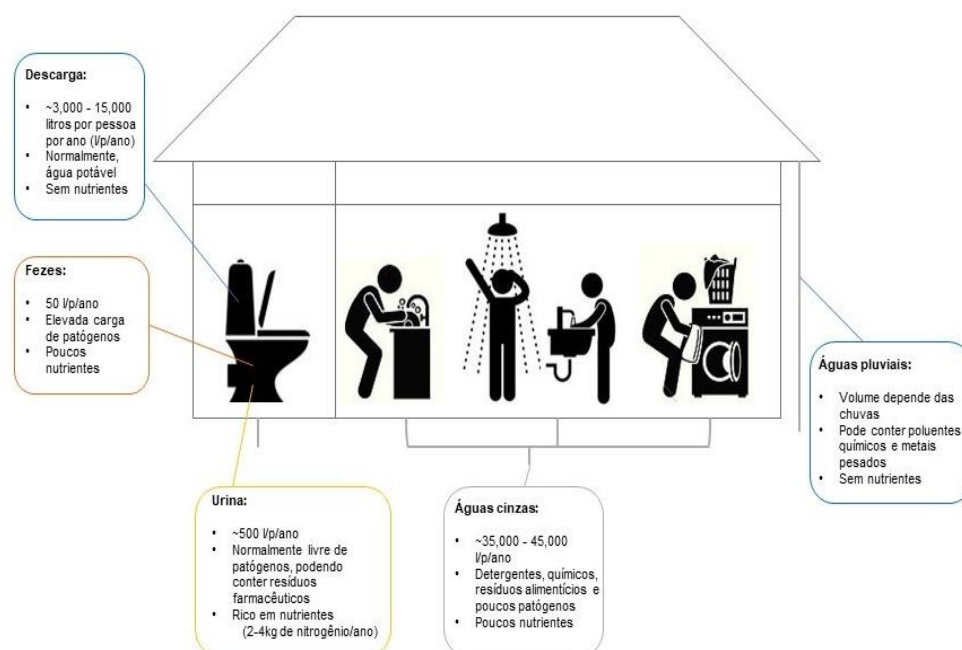


Figura 3.2: Correntes de águas residuais domésticas (Adaptado de Wageningen University citado por Philip et al.2011)

Os gráficos da figura 3.3 manifestam os graus de concentração de algumas substâncias das águas residuais domésticas, em forma de parâmetros, tendo como base os compostos presentes nestas águas. Dessa forma, levando em consideração o volume de água, as águas cinzas apresentam-se em maior concentração, seguidas das águas de descarga. Em relação ao teor de patógenos presentes nas águas residuais domésticas, quase toda a concentração predomina nas fezes. A urina, por sua vez, é o composto que apresenta maior concentração no teor de nutrientes.



Figura 3.3: Distribuição dos principais constituintes das águas residuais domésticas, excluídas as águas pluviais (Adaptado de Wageningen University citado por Philip et al., 2011)

3.2 Classificação das águas residuais urbanas segundo os possíveis usos

A classificação das águas residuais urbanas foi definida em grupos distintos de reúso, de acordo com sua finalidade através de um documento lançado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1973 (WHO, 1973), o qual compreende:

reúso indireto: Trata-se do descarregamento de água já usada até mais de uma vez, seja em uso doméstico ou industrial, em águas superficiais ou subterrâneas. Nesta categoria de reúso, ocorre a autodepuração através da degradação dos poluentes descartados com o efluente.

reúso direto: Trata-se de uma atividade que exige planejamento e aplicação de tecnologias apropriadas para o tratamento de efluentes condizentes com as possíveis finalidades de utilização, tais como: irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.

reciclagem interna: Trata-se do reúso da água proveniente de processos e operações, onde a água resultante de determinada atividade é reaproveitada em outras fontes. Essa prática é mais usual no setor industrial.

reúso potável direto: Trata-se da recuperação de efluentes a partir de tratamentos avançados a fim de permitir o uso potável. Essa prática torna-se inviável em alguns países, como o Brasil, tendo em vista o baixo custo da água comparado ao tratamento com custos elevados além do alto risco de contaminação associado.

reúso potável indireto: Trata-se da utilização de efluentes através de tratamento e disposição nas águas superficiais e subterrâneas para que aconteçam os processos de diluição, purificação total e captação seguidos de tratamento e por fim, utilização como água potável (Moruzzi, 2008).

Dentre os grupos supracitados e considerando o reúso direto planejado para fins não potáveis como fundamento para a posterior avaliação de riscos neste trabalho, destaca-se o quadro 3.4 com alguns dos tipos de reúso para as águas residuais. Os reúsos para fins agrícolas, através da irrigação, serão o foco desta pesquisa, considerando vegetação e culturas alimentares como alvo de avaliação sob o ponto de vista do risco ambiental e social.

Quadro 3.4: Tipos de reúso direto para águas residuais (Adaptado de Metcalf & Eddy, 2007 e BRASIL, 2006)

Reúso urbanos	Reúso para fins ambientais e recreativos	Reúso para recarga de aquíferos	Reúso em aquicultura	Reúso para fins agrícolas	Reúso para fins industriais
<ul style="list-style-type: none"> - Descarga de autoclismos; - Fontes e jogos de água ornamentais; - Lavagem de veículos; - Lavagem de ruas; - Lavagem de contentores de RSU; - Combate a incêndios; - Varrimento de coletores; - Fusão de neve; - Condicionamento de ar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lagos e lagoas artificiais; - Reforço do caudal de cursos de água: - Reforço de zonas húmidas; - Neve artificial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reforço dos aquíferos; - Barreira contra a intrusão; - Salina; - Armazenamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos; 	<ul style="list-style-type: none"> - Viveiros de árvores e plantas; - Culturas alimentares, forragens, cereais, fibras; - Proteção contra as geadas; - Silvicultura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Água de arrefecimento; - Lavagem de equipamento; - Combate contra incêndio; - Construção pesada; - Água de processo.

A figura que segue, em forma de fluxograma, complementa o quadro anteriormente destacado e de forma semelhante destaca seis categorias de possíveis aplicações para reúso direto de águas residuais, na perspectiva de Hespanhol (2002).

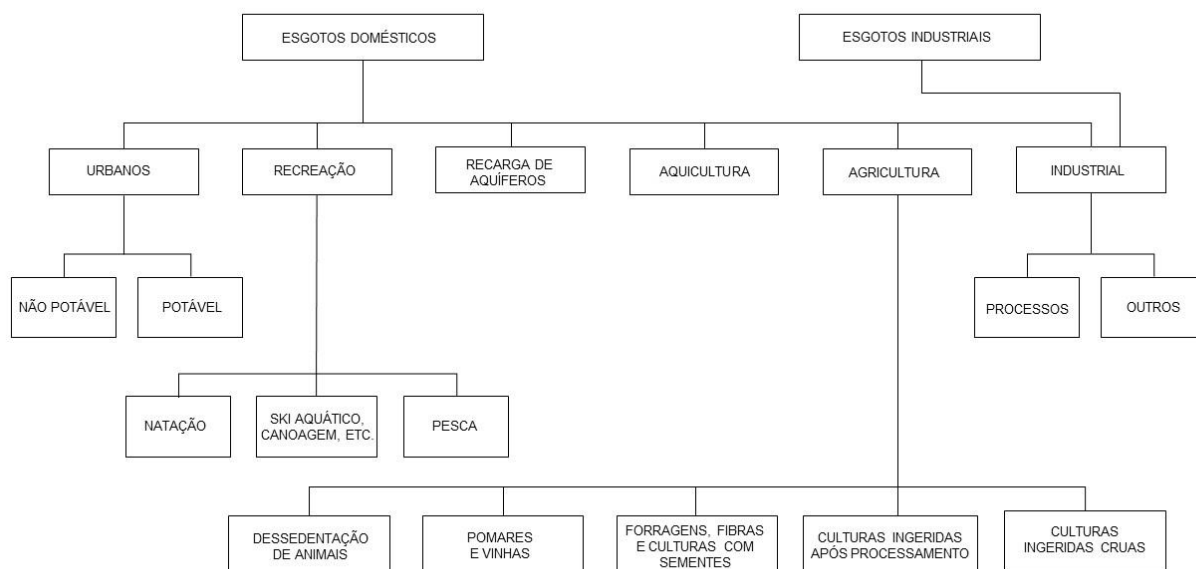


Figura 3.4: Fluxograma com algumas possíveis aplicações para reúso direto de águas residuais tratadas (Hespanhol, 2002)

3.3 Tratamento de águas residuais urbanas

Monte & Albuquerque (2010) defendem que para a reutilização de águas residuais é imprescindível o conhecimento do caudal disponível, no que se refere ao volume e composição. Nesse contexto, a composição depende tanto das características das águas residuais brutas como também do tipo de tratamento realizado na ETAR ou até mesmo o tipo de tratamento necessário para determinada aplicação de reúso.

A Diretiva Europeia para Tratamento de Águas Residuárias Urbanas (91/271/EEC), adotada em 1991, determina a necessidade de proteção para as águas subterrâneas, lagos, rios e mares na Europa em virtude do possível tratamento inadequado das águas residuais domésticas. A Diretiva Quadro da Água (2000/60/EC), por sua vez, complementa a Diretiva Europeia citada, na medida em que exige bons níveis de qualidade ambiental das águas até o ano de 2015.

A Diretiva Europeia para Tratamento de Águas Residuárias Urbanas se apoia em quatro princípios, conforme a (EC, 2019):

Planejamento: Designação de áreas sensíveis, revisadas a cada quatro anos, e identificação das descargas em zonas com mais de 10 000 p.e. nestas áreas, para que seja garantido um tratamento mais avançado das águas residuais. Além disso, o Planejamento deve contar com um programa técnico

e financeiro que visa a construção de sistemas coletores de águas residuais e estações de tratamento que sejam condizentes com os objetivos de tratamento dentro dos prazos que constam na diretiva.

Regulamento: Regulamentação prévia ou autorização para as descargas de águas residuais urbanas, assim como águas residuais provenientes das indústrias, para que estas, ao chegarem no sistema de coletas das águas residuais urbanas, não comprometam o bom funcionamento do processo de tratamento.

Garantia da existência de sistemas coletores em aglomerações com mais de 2000 p.e. e que a capacidade destes sistemas coletores assegure não só as condições climáticas normais, mas também as variações sazonais.

Garantia dos requisitos técnicos para o projeto, construção, operação e manutenção de estações de tratamento de águas residuais urbanas, assim como tratamento adequado para as águas residuais provenientes de todas as aglomerações, conforme as especificações da Diretiva.

Assegurar a correta reutilização ou eliminação das lamas e o respeito às diretivas interligadas específicas para a reutilização agrícola (86/278 / CEE), de incineração (89/429 / CEE e 89/369 / CEE), e os aterros (99/31 / CE).

Monitoramento: Os Estados-Membros devem conceber programas de monitorização com parâmetros, método analítico e frequência de amostragem para garantir o controle das descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas e das águas receptoras.

Informação e Relatórios: Intercâmbio de informações com outros Estados-Membros quando as descargas de águas residuais implicarem efeitos transfronteiriços.

Base de dados para o fornecimento de informações como, por exemplo, relatórios que documentam a eliminação e reutilização de águas residuais urbanas tratadas e lamas de depuração. Além destes, são relevantes informações sobre o estado dos sistemas de recolha, eficiência das estações de tratamento e qualidade das águas receptoras.

Acesso do público a informações relevantes e sobre a situação da coleta e tratamento de águas residuais e eliminação ou reutilização de lamas.

3.3.1 Processos de tratamento e desinfecção de águas residuais urbanas

O tratamento de águas residuais consiste em um processo de remoção de contaminantes a partir de operações e processos unitários que podem ser agrupados em alguns níveis: tratamento preliminar, primário, secundário, terciário e avançado, os quais reúnem mecanismos físicos, químicos ou

biológicos de forma combinada. O esquema abaixo representa a combinação dos níveis de tratamento de uma forma simplificada:

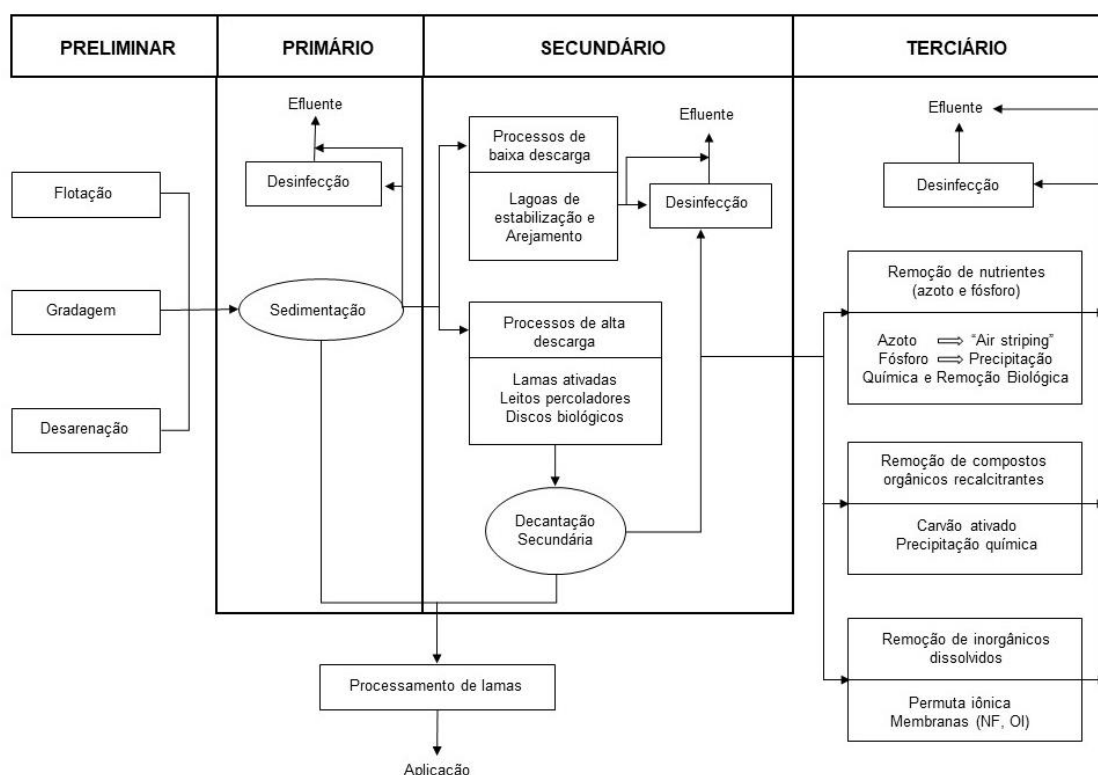


Figura 3.5: Esquema genérico de tratamento de águas residuais (Adaptado de USEPA, 1992a)

A classificação detalhada das etapas utilizadas para tratamento de águas residuais consta no quadro 3.5:

Quadro 3.5: Classificação de etapas utilizadas para tratamento de águas residuais (Metcalf & Eddy, 2007)

Nível de tratamento	Descrição
Preliminar	Remoção de constituintes de águas residuais, tais como panos, bastões, flutuadores, cascalho e graxa, que podem causar problemas de manutenção ou operacionais com as operações de tratamento, processos e sistemas auxiliares.
Primário	Remoção de uma parte dos sólidos suspensos e matéria orgânica da água residual.
Primário avançado	Remoção aprimorada de sólidos suspensos e matéria orgânica das águas residuais, tipicamente realizado por adição química ou filtração.

Continua ...

Nível de tratamento	Descrição
Secundário	Remoção de matéria orgânica biodegradável (em solução ou suspensão) e sólidos suspensos. A desinfecção normalmente também está incluída na definição do tratamento secundário convencional.
Secundário com remoção de nutrientes	Remoção de orgânicos biodegradáveis, sólidos em suspensão e nutrientes (nitrogênio, fósforo ou nitrogênio e fósforo).
Terciário	Remoção de sólidos residuais em suspensão (após o tratamento secundário), geralmente por filtração em meio granular, filtração de superfície e membranas. A desinfecção também é tipicamente uma parte do tratamento terciário. A remoção de nutrientes é frequentemente incluída nesta definição.
Avançado	Remoção do total de sólidos dissolvidos e/ou constituintes vestigiais, conforme necessário para aplicações específicas de reutilização de água.

Dentre os processos de tratamento adotados para a desinfecção do efluente em uma ETAR, o quadro 3.6 apresenta o desempenho de cada processo na inativação de microrganismos presentes em águas residuais. Além deste, o quadro 3.6 demonstra o desempenho na remoção de poluentes químicos relativamente a cada etapa do processo de tratamento das águas residuais, a partir de valores experimentais, baseados em casos reais, assim como o desempenho global quando todas as etapas do processo de tratamento são adotadas.

Quadro 3.6: Eficiência de remoção microbiana por processo de tratamento de águas residuais (Metcalf & Eddy, 2007)

Microrganismos	Remoção de microrganismos por processo de tratamento (unidades logarítmicas)					
	Primário	Secundário		Terciário		Avançado
	Decantação não assistida	Lamas ativadas	Leitos percoladores	Filtração	Definição ¹	Osmose inversa ²
Coliformes fecais	<0.1–0.3	0–2	0.8–2	0–1	1–4	4–7
<i>Salmonella</i>	<0.1–2	0.5–2	0.8–2	0–1	1–4	4–7
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	0.2–0.4	0–1	0.5–2	0–1	1–4	4–7
<i>Shigella</i>	<0.1	0.7–1	0.8–2	0–1	1–4	4–7
<i>Campylobacter</i>	1	1–2		0–1	1–4	4–7
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0.1–1	1		0–3	1–4	4–7

Continua ...

Microrganismos	Remoção de microrganismos por processo de tratamento (unidades logarítmicas)					
	Primário	Secundário		Terciário		Avançado
	Decantação não assistida	Lamas ativadas	Leitos percoladores	Filtração	Definição ¹	Osmose inversa ²
<i>Entamoeba histolytica</i>	0–0.3	<0.1	<0.1	0–3	2–6	>7
<i>Giardia lamblia</i>	<1	2		0–3	2–6	>7
Ovos de helminta	0.3–1.7	<0.1	1	0–4	2–6	>7
Vírus entéricos	<0.1	0.6–2	0–0.8	0–1	0–2	4–7

¹Ampla gama de valores devido a diferenças no desempenho de membranas de diferentes fabricantes e imperfeições ou falhas da membrana.

²Em teoria, a osmose reversa deve remover todos os organismos, no entanto, devido a imperfeições ou falhas da membrana, alguns organismos podem atravessar com o fluxo permeável.

Considerando os tratamentos primário e secundário, é possível perceber que o nível de desinfecção atinge no máximo os valores de duas unidades logarítmicas na concentração de microrganismos, ou seja, o nível de contaminação da água é apenas um pouco menor que o das águas residuais brutas. Já os tratamentos conhecidos como “processos de membrana” são capazes de reduzir a quase totalidade dos microrganismos presentes nas águas residuais brutas.

Quadro 3.7: Eficiência de remoção de poluentes químicos submetidos a tratamento primário, secundário, terciário e avançado (Metcalf & Eddy, 2007)

Poluentes Químicos	Remoção do tratamento (%)				
	Primário	Secundário	Terciário	Avançado	Global
CBO	19	74	5	NA	98
SST	40	55	4	NA	99+
COT	21	64	8	7	99+
ST	9	10	6	72	97
Turvação	12	74	14	0	99+
N-NH ⁴	5	52	1	39	96
N-NO ³	0	0	0	0	0
P-PO ⁴	16	28	54	0	98
Arsênio	3	19	30	30	92
Boro	0	0	13	3	17
Cádmio	17	0	67	0	83
Cálcio	3	7	0	88	99
Cloretos	3	0	0	90	94
Crômio	0	32	24	26	83
Cobre	0	33	52	0	83
Ferro	11	59	22	2	94
Chumbo	0	0	93	0	91
Magnésio	1	0	82	13	96
Manganês	4	37	57	0	97
Mercúrio	33	33	0	0	67

Continua ...

Poluentes Químicos	Remoção do tratamento (%)				
	Primário	Secundário	Terciário	Avançado	Global
Níquel	0	33	11	45	89
Selênio	0	16	0	64	80
Prata	0	75	0	0	75
Sódio	3	0	0	91	94
Sulfatos	9	0	0	91	99+
Zinco	6	64	27	0	97

NA – não aplicável

3.4 Importância da reutilização de águas residuais

A abordagem mais evidente nos dias de hoje sobre a gestão de água, no contexto da sustentabilidade, manifesta a urgência para a preservação da água potável e para a redução de poluentes no ambiente, configurando uma componente estratégica na gestão sustentável dos recursos hídricos.

Nesse contexto e em uma visão mais ampla, de forma a justificar a necessidade para a reutilização da água, a APA (2019) classifica três categorias de atuação:

Nova abordagem: A reutilização da água é uma origem alternativa que implica em menores custos de investimento e energia, e contribui na redução da emissão de gases com efeito estufa.

Maior constância na disponibilidade: Tem potencial para a execução de projetos que dependam de reservas hídricas, além de mitigar os efeitos de seca e escassez hídrica.

Benefícios ambientais: Contribui tanto em relação a diminuição dos volumes de água captados como também em relação a diminuição de carga rejeitada.

Diante do panorama em questão, os conceitos relacionados à reutilização de águas residuais são mais comuns e compreensíveis à medida que os efluentes passam a não ser mais considerados apenas resíduos. No que se refere às terminologias e tendo em vista que o conceito de reutilização da água é considerado como sinônimo de utilização de águas residuais, Monte & Albuquerque (2010) defendem o emprego da terminologia “reutilização de águas residuais”, cujo significado implica que antes da reutilização essas águas são submetidas ao tratamento condizente com o uso posterior. Para Oenning Junior & Pawlosky (2007), o reúso significa a utilização da água por mais de uma vez, tratada ou não, para o mesmo ou outro fim. Neste caso, os autores consideram que essa reutilização pode ser de forma direta ou indireta, mediante planejamento ou não. Assim, as águas residuais tratadas são consideradas como forma direta de reutilização, haja vista sua produção se dar nas Estações de Tratamento de Esgoto, podendo ter várias aplicações de usos.

Relativamente à realidade que se vislumbra progressivamente e conforme dados apontados pela WHO (2006a), é esperado que mais de 40% da população mundial more em países com estresse ou escassez de água, nos próximos 50 anos. A pressão sobre os suprimentos de água com alta qualidade para usos urbanos e agrícolas, trará reflexos nítidos sobre a escassez em regiões áridas, semi-áridas e densamente povoadas.

A previsão, de acordo com a Divisão de População das Nações Unidas, é de que em 2025 mais da metade da população do mundo em desenvolvimento seja urbana (ver Figura 3.6). Com isso, até 2025 a água potável que hoje é desperdiçada nas grandes metrópoles refletirá nas necessidades para mais da metade da população do planeta. Diante dessa estimativa, a previsão é de que até o ano de 2025 a agricultura irrigada precisará produzir 70% dos alimentos do mundo para suprir as necessidades de dois bilhões de pessoas a mais que atualmente (Martins, 2003, e Thomas, 2003, citados por Detoni & Dondoni, 2008).

Em meio a esse crescimento populacional descomedido, aumenta tanto a demanda por água quanto o lançamento de resíduos no ambiente. O resultado disso, é a ameaça à saúde pública, pois muitas cidades não dispõem de sistemas adequados de esgotos e estações de tratamento, o que aumenta a contaminação de corpos hídricos e águas subterrâneas.

Segundo a FAO (2012), somente um terço das águas residuais é tratado nas cidades dos países em desenvolvimento (ver Figura 3.7).

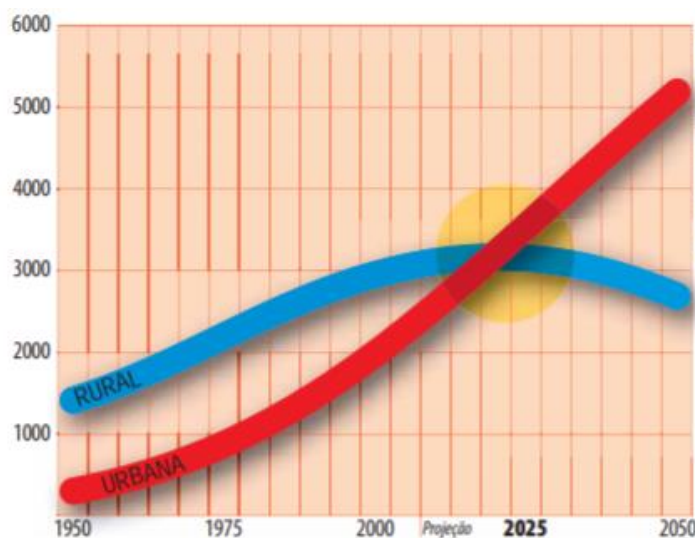


Figura 3.6: Crescimento demográfico (em milhões) no mundo em desenvolvimento de 1950-2050 (Divisão de População das Nações Unidas citado por FAO, 2012)

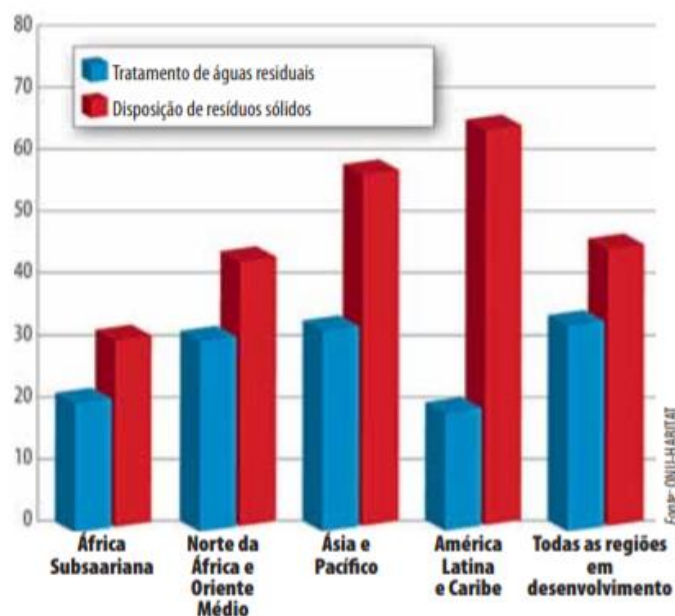


Figura 3.7: Gestão de resíduos urbanos, percentagem por região (ONU-HABITAT citado por FAO, 2012)

Diante do exposto, Metcalf & Eddy (2007) citado por Hespanhol (2008), defende o argumento de que a causa para a preocupação em conservar, tratar e reutilizar os recursos hídricos consiste nos conflitos pelo uso da água marcados pela escassez. Nesse contexto, o autor destaca aspectos positivos relativamente à utilização de água recuperada, os quais compreendem preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais.

A fim de confirmar a necessidade para a reutilização de águas residuais, através da compilação de fontes que tratam do assunto, são apontadas questões referentes à justificativa, potenciais benefícios e fatores que impulsionam essa atividade:

Quadro 3.8: Recuperação e reutilização de água: justificativa, benefícios potenciais e fatores que impulsionam seu uso futuro. Adaptado de Asano (1998), Queensland Water Recycling Strategy (2001), Mantovani et al. (2001) e Simpson (2006) citado por Metcalf & Eddy (2007)

Justificativa	Potenciais Benefícios	Fatores de impulsão
<p>* A água é um recurso limitado;</p> <p>* A qualidade da água recuperada é apropriada para muitas aplicações não potáveis;</p> <p>* A recuperação e reutilização de água permitem o uso mais eficiente de energia e recursos;</p> <p>* A reutilização da água permite a proteção do meio ambiente reduzindo o volume de efluente tratado descarregado nas águas receptoras.</p>	<p>* Conservação de água doce;</p> <p>* Gestão de nutrientes que podem levar à degradação ambiental;</p> <p>* Melhor proteção de ambientes aquáticos sensíveis, reduzindo as descargas de efluentes;</p> <p>* Vantagens econômicas, reduzindo a necessidade de fontes de água suplementares e infraestrutura associada;</p> <p>* Nutrientes na água recuperada podem compensar a necessidade de fertilizantes suplementares, conservando recursos. Ao reduzir os fluxos de nutrientes (e poluição resultante) nos cursos de água, o turismo e as indústrias pesqueiras também são ajudados.</p>	<p>* Proximidade: a água recuperada está prontamente disponível nas proximidades do ambiente urbano, onde os recursos hídricos são mais necessários e têm alto preço;</p> <p>* Confiabilidade: a água recuperada fornece uma fonte confiável de água, mesmo em anos de seca, já que a produção de efluentes urbanos permanece quase constante;</p> <p>* Versatilidade: Processos de tratamento de águas residuais tecnicamente e economicamente comprovados que estão disponíveis e podem fornecer água para aplicações não potáveis, além de produzir água de uma qualidade que atenda aos requisitos de água potável;</p> <p>* Segurança: Sistemas de reutilização de água não potável estão em operação há mais de quatro décadas, sem impactos adversos documentados à saúde pública nos Estados Unidos ou em outros países desenvolvidos;</p> <p>* Concorrência das demandas por recursos hídricos: aumento da pressão sobre os recursos hídricos existentes devido ao crescimento populacional e ao aumento da demanda agrícola;</p> <p>* Responsabilidade fiscal: Crescimento do reconhecimento entre os gestores de água e águas residuais dos benefícios econômicos e ambientais do uso de água recuperada;</p> <p>* Interesse público: Aumentar a conscientização sobre os impactos ambientais associados ao uso excessivo de suprimentos de água e o entusiasmo da comunidade pelo conceito de recuperação e reutilização de água;</p> <p>* Impactos ambientais e econômicos das abordagens tradicionais dos recursos hídricos: Maior reconhecimento dos custos ambientais e econômicos das instalações de armazenamento de água, como barragens e reservatórios;</p> <p>* Histórico comprovado: o número crescente de projetos bem-sucedidos de recuperação e reutilização de água em todo o mundo;</p> <p>* Padrões de qualidade da água mais rigorosos: Aumento dos custos associados à modernização das instalações de tratamento de águas residuais para atender aos requisitos mais altos de qualidade da água para o descarte de efluentes;</p> <p>* Necessidade e oportunidade: Fatores motivadores para o desenvolvimento de projetos de recuperação e reutilização de água, como secas, escassez de água, prevenção de intrusão de água do mar e restrições às descargas de efluentes, além de condições econômicas, políticas e técnicas favoráveis à recuperação e reutilização de água.</p>

Somado aos benefícios supracitados, além de viabilizar a recuperação de efluentes e proporcionar a sua utilização em aplicações menos exigentes, o reúso da água garante uma diminuição na escala do ciclo hídrico em prol do balanço energético (Metcalf & Eddy, 2003).

Ademais aos fatores de impulsão citados anteriormente, WHO (2006a) destaca os principais estímulos para a utilização de águas residuais:

- Aumento da escassez e estresse hídrico e degradação dos recursos de água doce resultantes do descarte inadequado de águas residuais;
- Aumento da população e aumento da demanda por alimento;

- Um crescente reconhecimento do valor dos recursos e nutrientes que existem nas águas residuais;
- The Millennium Development Goals (MDGs), especialmente as metas para garantir a sustentabilidade ambiental e eliminar a pobreza e a fome.

No tópico seguinte, fica mais clara a complexidade que envolve o assunto, pois a qualidade e disponibilidade de água no meio urbano está diretamente ligada não só à atividade humana, mas também aos impactos relacionados ao clima. Nesse ponto de vista, o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2014) declara que desde os antecedentes da era industrial, associado ao crescimento populacional e econômico, houve um aumento das emissões de gases do efeito estufa, o que tem aumentado cada vez mais. O resultado dessas concentrações na atmosfera, aliadas a outros fatores antropogênicos, provavelmente são a causa do aquecimento global constatado desde meados do século XX.

3.4.1 Alterações Climáticas

Atualmente, a gestão da água pode ser vista como o principal meio para mensurar os impactos causados pelo aquecimento global, além de viabilizar a administração das incertezas contemporâneas associadas às mudanças climáticas, em meio a um processo de implementação de princípios ligados à gestão integrada de recursos hídricos.

As mudanças climáticas, que levam à uma maior variabilidade climática, associadas à outras pressões antropogênicas, como urbanização, crescimento populacional e mudanças nas bacias hidrográficas, somam-se às tensões relacionadas ao clima. Dessa forma, o gerenciamento do ciclo hidrológico tem tornado-se cada vez mais complexo, onde as ações precisam ser planejadas e implementadas em um panorama de incertezas, vislumbrando um futuro mais sustentável e resiliente (Oliveira, Matos & Monteiro, 2013).

Recentemente, um dos grandes desafios para a humanidade tem sido a necessidade de maior gerenciamento inteligente da água para garantir e melhorar a segurança hídrica e contribuir tanto para a mitigação de efeitos adversos quanto para a adaptação de tecnologias e sistemas que aumentam a resiliência, pois a qualidade e disponibilidade da água tem sido foco de avaliações científicas de escassez global e estresse potencial, haja vista a indução feita tanto pelo clima como pelo homem (Falkenmark et al., 2007; World Health Organization & Department for International Development, 2009). Na perspectiva do desenvolvimento sustentável, a definição possivelmente mais abrangente à respeito de segurança hídrica, de acordo com Grey & Sadoff (2007), é a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas à saúde, meios de subsistência, ecossistemas e produção, assim como um nível de riscos aceitável nas escalas social, ambiental e econômica.

A estratégia da reutilização da água para fins múltiplos, tem emergido nos últimos anos de forma imperativa, como um paradigma da sustentabilidade no que se refere à gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, é importante a compreensão não só dos conceitos associados à gestão sustentável dos recursos hídricos, mas também da necessidade de recuperação de águas residuais, com o tratamento adequado de acordo com a atividade a que se destina (Monte & Albuquerque, 2010).

As mudanças esperadas no sul da Europa, são precipitações que apontam para períodos de seca mais longos. Ao mesmo tempo, maiores serão os riscos de inundação e degradação da qualidade da água, diante de tempestades mais intensas. É esperado ainda o aumento do nível do mar, o que pode afetar cidades de áreas costeiras com inundações desastrosas. Por outro lado, no que se refere aos sistemas de águas residuais, com a entrada de águas salinas, pode haver complicações significativas no desempenho do tratamento biológico e comprometimento da reutilização de efluentes tratados para fins de irrigação (Oliveira et al., 2013).

Os sistemas urbanos de água têm um papel cada vez mais importante, em virtude da necessidade de elaboração de estratégias que possam lidar de forma efetiva tanto na preparação para a inevitável mudança climática como para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). É possível constatar cada vez mais a produção de energia renovável em estações de tratamento de águas residuais, o que favorece a diminuição da produção de energia de combustíveis fósseis. Apesar de ser uma porcentagem pequena, vale ressaltar que na escala de consumo doméstico total de eletricidade, o abastecimento de água e a gestão de águas residuais representam 5 a 10% desse consumo, o que já se destaca como iniciativa para a redução do consumo total de energia e emissões de GEE (SWITCH, 2006).

Embora seja possível perceber alguma aplicação de tecnologia e conhecimento nos sistemas urbanos de água de forma adaptativa às projeções sobre mudanças climáticas, é preciso considerar que ainda existem lacunas tanto relacionadas à informação básica como às tecnologias.

Dentre os aspectos relacionados à informação básica, é preciso estimar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) nas alternativas de saneamento. Além disso, os aspectos sociais e econômicos de saneamento gerenciado por domicílios permanecem sem estudo. As lacunas tecnológicas apontam para a necessidade de se aprender sobre como tecnologias simples e de baixo custo podem ser usadas sem representar um risco inaceitável de contaminação, apesar de já haver algumas aplicações em cidades com saneamento a seco ou com pouco consumo de água (WHO, 2009).

3.4.1.1 Mudança climática e os sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais

A mudança climática não é um fato que acontece isoladamente. Alguns fatores, como mudanças nas demandas de água de outros setores, podem refletir no aumento dos impactos das mudanças

climáticas. A redução desses impactos pode ser garantida por medidas atenuantes, como o aumento da reutilização de águas residuais na agricultura. Nesse contexto, é perceptível que as mudanças climáticas têm influência direta nos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais, haja vista o comprometimento de suas funções, conforme mostra a figura 3.8:

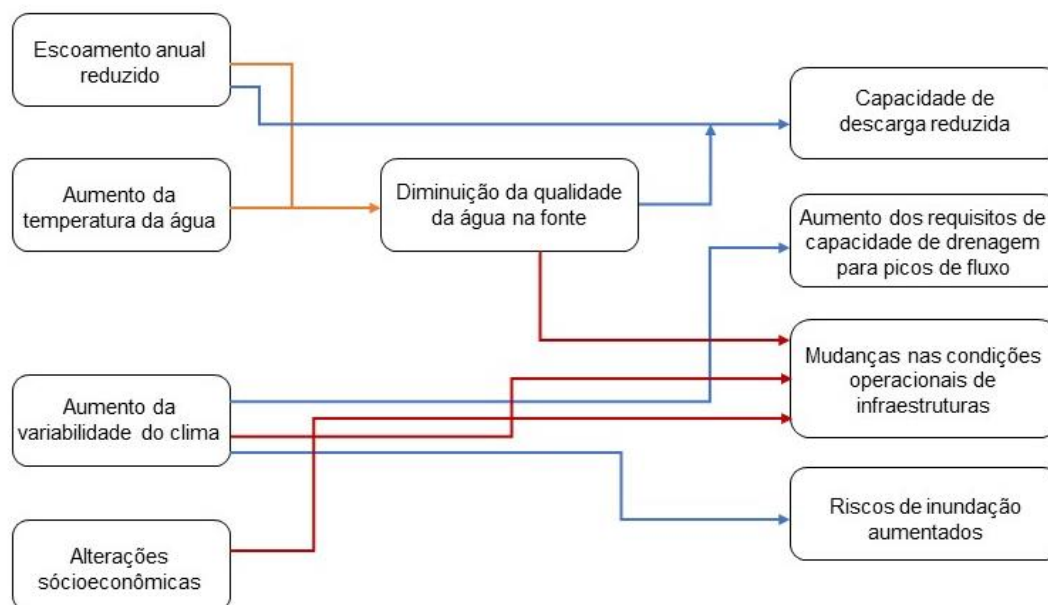


Figura 3.8: Impactos da mudança climática nos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais (Oliveira et al., 2013)

O entendimento da mudança climática é mais claro se a compreendermos como um fator adicional em uma complexa rede de interações (figura 3.9). Dessa forma, é necessário que haja planejamento e aplicação de tecnologias adaptáveis às múltiplas ameaças.

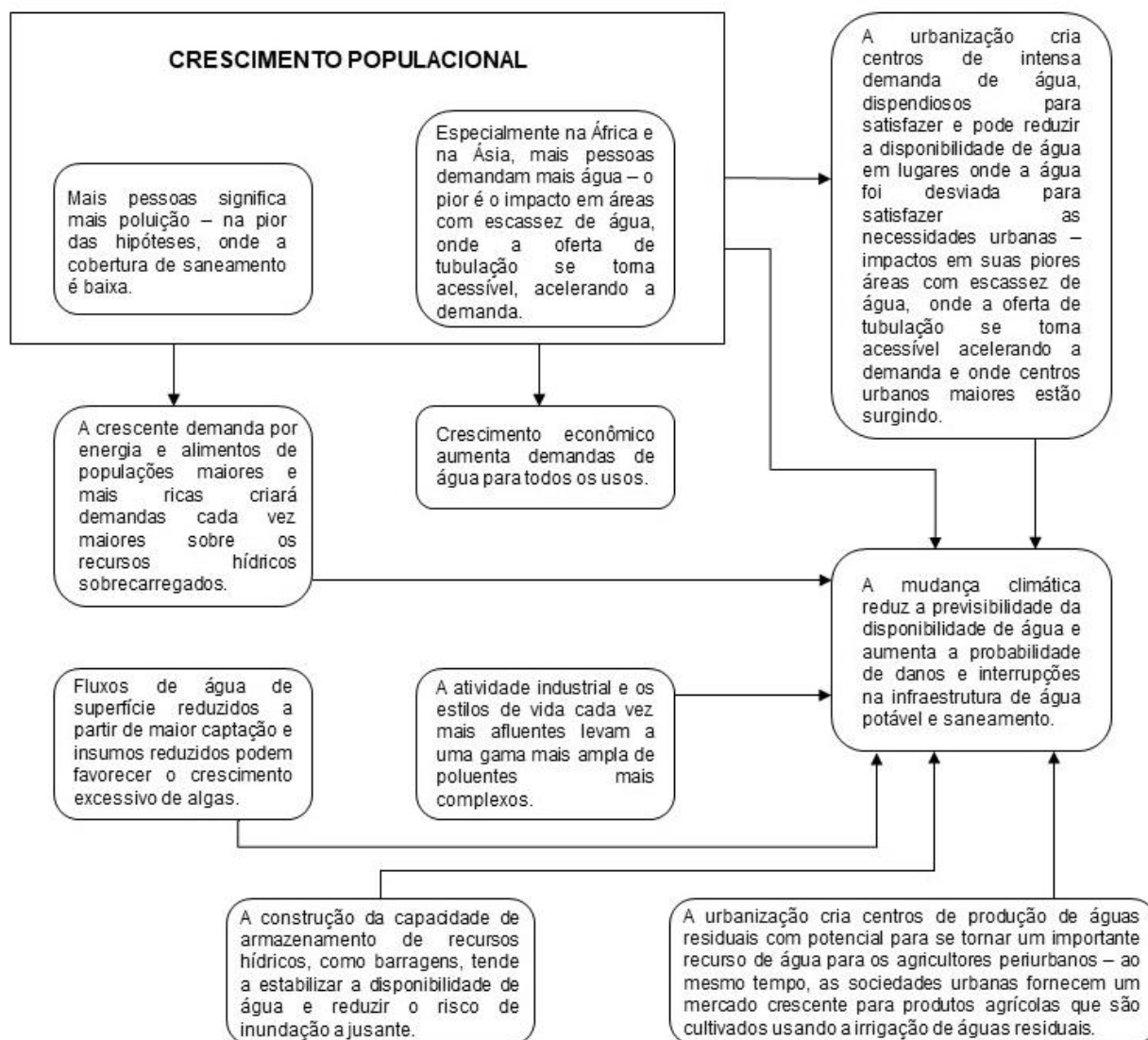


Figura 3.9: Impactos da mudança climática em um contexto de múltiplos desafios (Adaptado de WHO, 2009)

As grandes cidades de Portugal, por exemplo, enfrentarão grandes desafios em relação à mudança esperada no regime de chuvas, pois ainda que existam redes de drenagem e tratamentos suficientes, a alternância entre picos de precipitação e períodos de seca vai provocar instabilidade no que se refere ao fluxo e as características bioquímicas dos sistemas de águas residuais (Oliveira et al., 2013). Além disso, ainda existem os riscos de inundações pelo aumento do nível médio do mar, uma vez que as infraestruturas dos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais estão geralmente situadas próximas às zonas costeiras.

Conforme espera-se, algumas tendências climáticas são incertas. Entretanto, segundo a WHO (2009), a política e o planejamento de muitas regiões já apontam mudanças com urgência. Assim:

“ *Na África Subsaariana, o acesso ao abastecimento básico de água e saneamento é baixo, e é necessária uma adaptação inicial para evitar um declínio no progresso. Em muitos países isso implica mudanças tecnológicas.

*No norte da África e no leste do Mediterrâneo, nas regiões rurais secas com alta cobertura e níveis de serviço, há uma necessidade urgente de gerenciar serviços e recursos hídricos para evitar maior escassez de água.

*Na Ásia, a cobertura de água potável é alta, com muita dependência rural de poços protegidos. A inundação e a diminuição da confiabilidade das águas superficiais podem se tornar grandes desafios.

*No centro e norte da América do Sul, as projeções sugerem a secagem combinada com danos à infraestrutura causados por eventos extremos.”.

3.5 Experiências mundiais de reutilização de água residual

Esta seção destaca alguns estudos de caso, em escala mundial, da aplicação do uso de águas residuais urbanas na irrigação em diferentes contextos, com base no grande projeto de pesquisa SWITCH, que atuou por cinco anos investindo em conhecimentos aplicados à gestão sustentável da água no meio urbano vislumbrando a cidade do futuro.

3.5.1 Projeto SWITCH

A SWITCH foi uma importante parceria de pesquisa financiada pela Comissão Europeia com um orçamento superior a € 20 milhões durante o período de 2006 a 2011, que envolveu um consórcio implementador de 33 parceiros de 15 países.

A essência da SWITCH envolveu inovação na área de gestão sustentável de água urbana, muitas vezes também referida como gestão integrada de água urbana, culminando em um ambicioso projeto que visou a gestão da água na "cidade do futuro", destinada a desafiar os paradigmas existentes e a encontrar e promover alternativas mais sustentáveis às formas convencionais de gestão da água urbana, através de planejamento estratégico (SWITCH, 2006).

Conforme (SWITCH, 2006), o projeto SWITCH incluiu cidades com diferentes graus de desenvolvimento e perspectivas sociais, econômicas e ambientais em quatro continentes, onde a água revelou-se como base para o planejamento urbano tanto em escala micro (nível doméstico) como macro (nível da cidade).

3.5.1.1 Lima, Peru

A escassez de chuva e a pressão sobre o abastecimento de água em Lima, induziu o uso de água encanada, águas residuais cruas, efluentes tratados ou água do rio para irrigação de espaços verdes e atividades produtivas em torno da cidade. Na última década, a agricultura aumentou nas áreas urbanas como estratégia para aumentar o acesso à alimentos e gerar renda. Somado à possibilidade de utilização de água residual tratada para tais usos, houve interesse das autoridades em vista da

redução de demanda por água canalizada para além do uso potável, além da atenção aos processos de monitorização de aumento da qualidade da água usada para irrigação.

O projeto de demonstração, Eco-Productive Park, foi implementado no distrito de Villa el Salvador e concebido de forma participativa através de workshops com os stakeholders: organizações comunitárias, arquitetos e autoridades. O programa de necessidades compreendia quatro componentes: recreação, esportes, cultivo de arbustos ornamentais que são vendidos para parques da cidade e uma lagoa de tratamento terciário para águas residuais. O objetivo principal foi mostrar como a reutilização descentralizada de águas residuais tratadas poderia tornar verde uma área de 2 hectares do que antes era uma área típica do deserto. Ainda foi analisada a possibilidade de reutilização da água residual para a produção de alimentos, mas a legislação vigente não permitia o uso para este fim. Em geral, o projeto demonstrou melhoria no setor social (construção de comunidades, recreação, inclusão social), econômico (renda) e ambiental (espaços verdes, melhoria do ar, reutilização de resíduos).

A National Learning Alliance ficou responsável por revisar e finalizar as diretrizes de reutilização das águas residuais tratadas e no fim do ano de 2008 houve sua apresentação em uma sessão especial da Conferência Nacional sobre Água e Saneamento (PERUSAN). A aprovação formal se deu no final do ano de 2010 e as diretrizes políticas passaram a funcionar como uma agenda estratégica para as instituições envolvidas (SWITCH, 2006).

3.5.1.2 Accra, Gana

A produção irrigada de hortaliças em Accra é responsável pelo fornecimento de até 90% da demanda por vegetais mais perecíveis, como a alface. Entretanto, a produção está associada à riscos para a saúde e o meio ambiente pelo uso de águas residuais e pela contaminação dos vegetais através de patógenos.

A SWITCH baseou-se em pesquisas e desenvolveu inovações tecnológicas e institucionais com o intuito de minimizar os riscos associados à reutilização de águas residuais urbanas na agricultura. A pesquisa de ação se deu em Dzorwulu-Roman Ridge, dentro da Área Metropolitana de Acra.

A primeira demonstração da pesquisa aplicada se deu com base no princípio da sedimentação e no uso de lagoas e macrófitas, desenvolvida em um ambiente de campo de agricultores. Em uma segunda etapa, os grupos produtores estavam envolvidos em vincular a produção ao saneamento sustentável, através da coleta, tratamento e uso de urina para a agricultura no local de demonstração, haja vista que a urina é um bom recurso para o uso na agricultura urbana. Além das etapas citadas, foram feitos ensaios no campo agrônômico e estudos de viabilidade econômica e percepção, enquanto os agricultores e outras pessoas envolvidas passavam por treinamento (SWITCH, 2006).

3.5.1.3 Łódź, Polónia

A produção de lamas de águas residuais em Łódź chega a 200 toneladas por dia, segundo o Plano de Tratamento de Águas Residuais. Esse subproduto pode ser utilizado na agricultura não alimentar desde que a concentração de poluentes residuais obedeça as normas da legislação polonesa.

A SWITCH desenvolveu uma demonstração na silvicultura de curta rotação, através do plantio experimental de salgueiro, dentro da zona da estação de tratamento. O objetivo foi a busca de harmonia entre as tecnologias tradicionais de tratamento com métodos ecológicos de uso de lamas de águas residuais, remoção de metais pesados e produção de bioenergia. Além disso, a demonstração contou com monitoramento e pesquisa regular dos processos citados para a sua otimização, avaliação da toxicidade de lamas de águas residuais e elaboração de métodos para minimização da toxicidade do substrato lamas de águas residuais para salgueiros e desenvolvimento do sistema de apoio à decisão para manejo de plantações de salgueiro para aproveitamento de lamas de águas residuais.

Em 2008 foi possível utilizar de forma pioneira a biomassa produzida como fonte de energia térmica pelo conjunto habitacional "Giewont", na cidade de Łódź. Posteriormente, foi constatado que a produção de biomassa conseguiu atender a 50% da demanda por energia térmica em escola, posto de polícia, posto de correios, centro de serviços de saúde e blocos de apartamentos (SWITCH, 2006).

3.5.1.4 Chengdu, China

Através de um programa de construção sustentável, o Ministério da Construção, na China, pretende atuar em sistemas de recuperação de águas residuais descentralizadas para utilização em descargas de vasos sanitários, irrigação de paisagens, limpeza de ruas, lavagens de carros, etc. Nesse contexto, já existem 300 sistemas em operação produzindo de 50 000 à 60 000m³/dia de água de segunda qualidade.

A demonstração da SWITCH no Novo Campus de Chengdu atuou de modo a avaliar os potenciais benefícios da utilização de águas residuais urbanas descentralizadas através do uso de água cinza tratada para espaços verdes.

Apesar de existir um relatório de design do sistema e um plano de monitoramento, os resultados concretos de monitoramento não puderam ser concluídos durante a vigência do programa SWITCH. Entretanto, essa experiência serve de estímulo para a divulgação do programa de construção sustentável, a fim de contribuir para mitigar a escassez de água em mais de 450 cidades da China (SWITCH, 2006).

3.5.1.5 Tel Aviv, Israel

As principais questões de Tel Aviv em relação a gestão dos recursos hídricos relaciona-se com a escassez de água, tendo em vista que trata-se de uma cidade árida. As fontes de água da cidade incluem águas superficiais, subterrâneas e água do mar dessalinizada, esta última sendo considerada uma fonte potencial futura para suprir até 80% das necessidades de água em Israel.

A atuação da SWITCH em Tel Aviv se deu com o seguimento de vários projetos de pesquisa feitos anteriormente. Nesse contexto, a Mekorot (Companhia Nacional de Água) é diretamente envolvida nos projetos SWITCH e desde 1998 participa de projetos da União Europeia, no que se refere a gestão de água e efluentes envolvidos na reutilização. Exemplos desses projetos são: * Estratégias de gerenciamento de água com reutilização de água na captação, * Conceitos integrados de reutilização de águas residuais atualizadas e * Melhoria dos sistemas de tratamento de aquífero no solo (SAT) por SAT híbrido e processo de membranas. Uma das tipologias de projeto SAT serviu como base para a SWITCH fazer pesquisa e aplicação de tecnologia para eliminar micropoluentes.

A SWITCH ficou responsável por analisar a destinação final os micropoluentes dos efluentes utilizados no tratamento terciário para a irrigação de culturas, o que permitiu monitoramento e aprimoramento na análise de remoção desses micropoluentes reutilizados da ETAR de Shafdan (SWITCH, 2006).

3.6 Normatização internacional sobre gestão de recursos hídricos com destaque para o reúso

Normas internacionais desenvolvidas para reutilização de águas residuais

A reutilização de águas residuais tem se tornado uma prática cada vez mais significativa em escala global e a crescente necessidade para novos usos induziu muitos países ao desenvolvimento de regulamentos locais para controlar a qualidade da água para reutilização, com o objetivo de mitigar a crise hídrica, assim como os efeitos adversos à saúde e ao ambiente. Entretanto, devido às diferentes características entre os países, sejam de cunho geográfico, econômico ou social, o desenvolvimento dessas regulamentações tem ocorrido de forma gradual, porém não simultânea. Diante do exposto, Couto et al. (2015) citado por Belisário (2018) afirma que os critérios de reúso de água presentes em normativas internacionais são provenientes de aplicações que ponderam as realidades e particularidades de cada país. Assim, é importante considerar as realidades locais na definição de critérios e parâmetros para o tratamento adequado das águas residuais, a fim de que as exigências sejam condizentes com as reais necessidades e permitam a viabilidade da reutilização.

Os primeiros regulamentos sobre reúso agrícola das águas residuais, por exemplo, foram desenvolvidos nos Estados Unidos, no estado da Califórnia, o que lhe confere um dos quadros regulatórios mais rigorosos e completos. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA dos EUA) ainda desenvolveu normas e critérios para reutilização de água, que são usados como referência para outros países. Além disso, organizações internacionais, como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização das Nações Unidas (ONU) desenvolveram diretrizes e recomendações gerais.

Na Europa, alguns países possuem legislação detalhada no que se refere à reutilização de águas residuais, dentre os quais merecem destaque Espanha e Tunísia. Outros países como Arábia Saudita, Israel e Jordânia compartilham da mesma abordagem. Nas Américas, países como Brasil, Chile, Costa Rica e México demonstraram avanço no desenvolvimento de regulamentações voltadas para a restrição da reutilização de água com base no conteúdo microbiano. A África, em contrapartida, apesar de enfrentar uma crise hídrica em vários países, possui regulamentações negligentes ou até inexistentes, o que aponta para a prática descontrolada da reutilização de águas residuais (Navarro et al., 2015).

A linha do tempo que segue resume os antecedentes normativos baseados na perspectiva europeia:

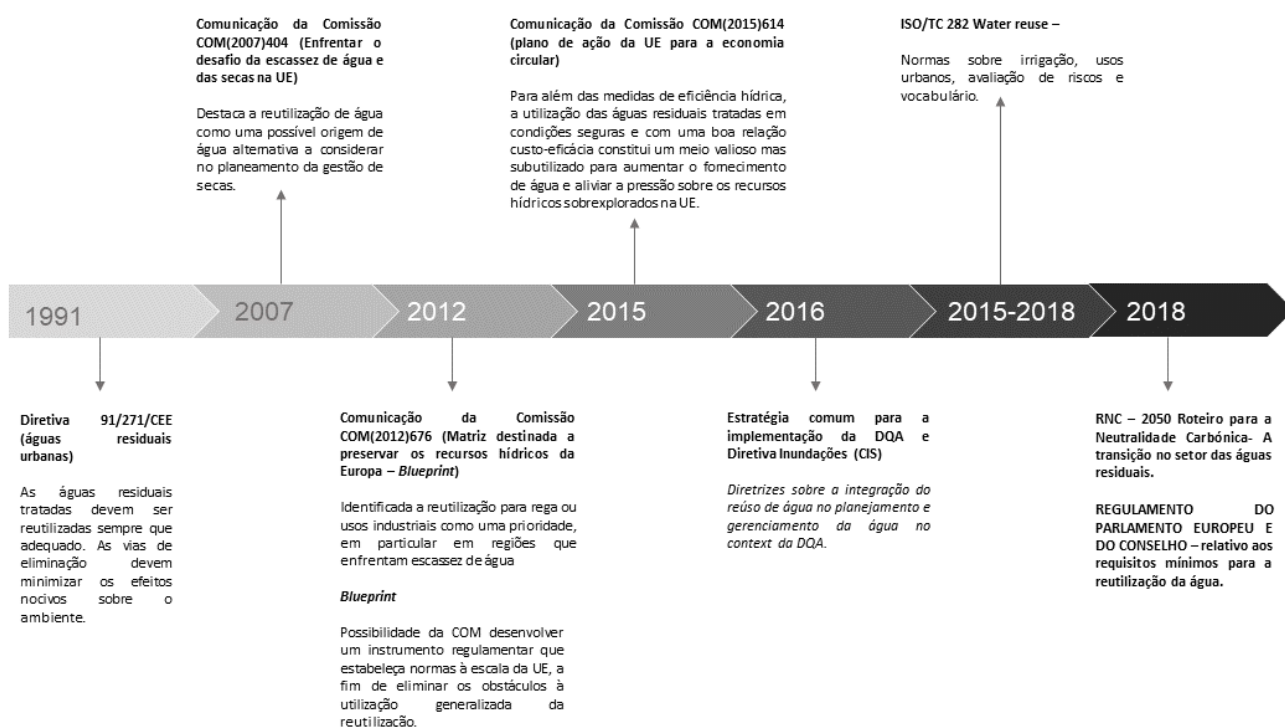


Figura 3.10: Antecedentes baseados na perspectiva europeia (Adaptado de APA, 2019)

Organização Internacional para Padronização

Responsável pelo estabelecimento de padrões internacionais em quase todos os setores, desde tecnologia, até segurança de alimentos, agricultura e saúde, a ISO - International Organization Standardization será referência adotada neste trabalho, no que se refere ao conhecimento e experiência internacional no domínio da reutilização da água, a fim de balizar as regulamentações dos países membros.

Neste caso, a ISO/TC 282 “Water Reuse” compõe a padronização da reutilização de água de qualquer natureza e para qualquer finalidade, incluindo aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais do reuso de água. Ainda é incorporado o escopo da ISO/PC 253 que compreende a reutilização de águas residuais tratadas para irrigação. Vale ressaltar a exclusão dos limites de qualidade permitida na água, os quais devem ser determinados pelos governos, pela Organização Mundial da Saúde – OMS e por outras organizações competentes (ISO, 2013).

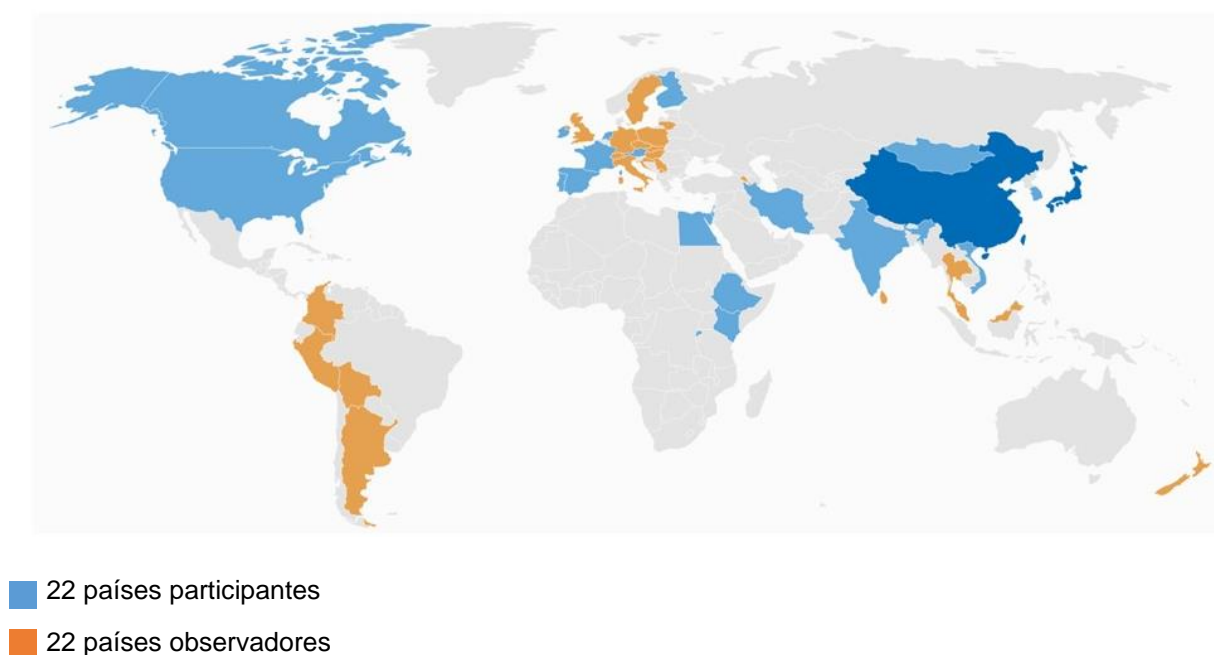


Figura 3.11: Países que têm a ISO/TC 282 como referência (Rosa & Ribeiro, 2019)

A figura 3.11 revela que a ISO/TC 282 é referência para muitos países em relação a padronização para reutilização de água. Vale ressaltar que na América do Sul existem alguns países que têm a ISO/TC 282 como exemplo mas que não cumprem seus preceitos obrigatoriamente. Em uma escala mais pontual, observa-se que o Brasil é um país que não aplica a referida norma nem como país participante, nem como país observador.

O fluxograma seguinte (ver figura 3.12) demonstra a estrutura da ISO/TC 282 em quatro categorias. Entretanto, pelo fato de este trabalho ter como objetivo principal o estudo sobre águas residuais tratadas com o uso voltado para irrigação, aliado à avaliação de riscos, serão destacadas apenas duas categorias da ISO/TC 282.

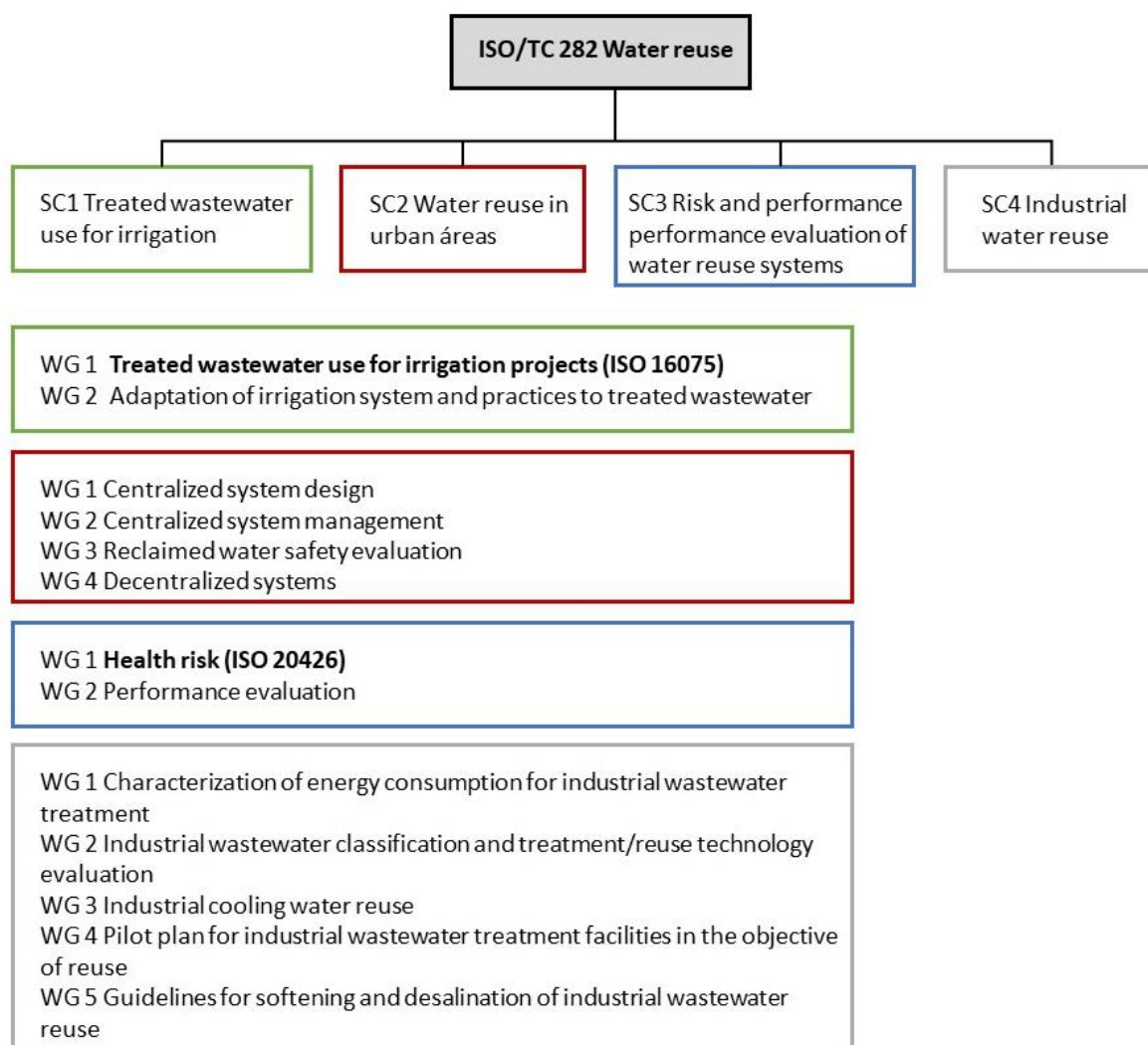


Figura 3.12: Estrutura da ISO/TC 282 (Rosa, M.J. & Ribeiro, R., 2019)

Treated wastewater use for irrigation projects (ISO 16075)

ISO 16075 – 1 (2015): contém diretrizes para o desenvolvimento e a execução de projetos que pretendem utilizar águas residuais tratadas (TWW) para irrigação e considera os parâmetros do clima e do solo (ISO, 2015a).

ISO 16075 – 2 (2015): contém critérios para projetos de irrigação de águas residuais tratadas destinadas a prevenir riscos à saúde pública dentro da população que tenha estado em contato direto

ou indireto com a TWW ou com qualquer produto que tenha entrado em contato com a TWW (ISO, 2015b).

ISO 16075 – 3 (2015): abrange os componentes do sistema necessários para o uso de TWW para irrigação, que se relacionam a vários sistemas de irrigação por pressão e abertos, especificamente a irrigação por gotejamento, pois esse método representa um método eficiente de fornecimento e economia de água (ISO, 2015c).

ISO 16075 – 4 (2016) fornece recomendações sobre: * Monitorar a qualidade das águas residuais tratadas (TWW) para irrigação; * Monitoramento de plantas irrigadas; * Monitorar o solo em relação à salinidade; * Monitoramento de fontes naturais de águas em ambientes vizinhos; * Monitorar a qualidade da água em reservatórios de armazenamento (ISO, 2016).

Health risk ISO 20426:2018

O objetivo deste documento é servir como diretrizes técnicas para a avaliação e gestão dos riscos à saúde associados a patógenos contidos na água recuperada, que se espera que sejam causados pelo uso de água recuperada e/ou pela produção, armazenamento e transporte de água.

3.6.1 Brasil

A gestão dos recursos hídricos no Brasil, foi marcada a partir do ano de 1992 com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento (ECO-92). Nessa ocasião, a preservação dos recursos naturais passou a ser dirigida pela Agenda 21. Relativamente a gestão dos recursos hídricos, o instrumento utilizado orientava para a proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos através da aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso de tais recursos. Entretanto, a existência dessa Agenda não tinha força suficiente como uma normatização internacional (Rapoport, 2004, e Melo et al., 2012 citado por Rezende, 2016).

Apesar de a Agenda 21 fazer menção ao reúso de águas residuais, a Política de Meio Ambiente e a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, instituída através da Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, não tratam diretamente sobre o tema, mesmo que incentivem o estudo e pesquisas orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais, assim como a racionalização do uso da água, onde a utilização de águas residuais é uma opção (Rezende, 2016).

Ainda em 1997, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através NBR 13969/1997 classifica as águas de reúso segundo seus usos principais e ainda estabelece alguns critérios de qualidade da água para reúso de acordo com seus usos pretendidos (ver quadros 3.9 e 3.10).

Quadro 3.9: Classificação das águas de reúso e seus principais usos (ABNT NBR 13969, 1997)

Classe	Usos principais
1	- Lavagem de carros; - Outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes.
2	- Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins; - Manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.
3	- Reúso nas descargas dos vasos sanitários.
4	- Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagem para gado; - Outros cultivos através de escoamento superficial ou sistema de irrigação pontual.

Quadro 3.10: Critério de qualidade da água de reúso (ABNT NBR 13969, 1997)

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Turbidez (UT)	< 5	< 5	< 10	-
CTer (NMP/100 mL)	< 200	< 500	< 500	< 5000
SDT (mg/L)	< 200	-	-	-
pH	Entre 6,0 e 8,0	-	-	-
Cloro residual (mg/L)	Entre 0,5 e 1,5	> 0,5	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	-	-	-	2,0
CTer: coliformes termotolerantes pH: potencial hidrogeniônico SDT: Sólidos Dissolvidos Totais				

Passados oito anos da instituição da Lei 9.433/1997, foi aprovado o Projeto de Lei 5.296 / 2005 (que institui as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e a Política Nacional de Saneamento Básico), o qual se refere ao reúso da água de forma mais direta através do Artigo 10, inciso III (BRASIL, 2005 citado por Florencio, Bastos & Aisse, 2006): “São diretrizes relativas ao esgotamento sanitário: incentivar o reúso da água, a reciclagem dos demais constituintes dos esgotos e a eficiência energética, condicionado ao atendimento dos requisitos de saúde pública e de proteção ambiental pertinentes.”.

A prática de reutilização de águas residuais no Brasil é, portanto, uma realidade ainda muito incipiente, se comparada a outros exemplos pelo mundo, o que incita a emergência em ações relacionadas à conservação e reúso de água de forma constante e crescente.

As consequências do lançamento de esgoto não tratado no ambiente é a danificação da qualidade dos corpos d'água, o que inviabiliza sua utilização para abastecimento. Além disso, o aumento da demanda assim como a prática do processo linear (sem reutilização dos recursos), tem diminuído a oferta de água e apontado para escassez hídrica (Moruzzi, 2008).

A escassez de água no Brasil atinge alguns estados mais que outros, devido as características relacionadas ao clima e ao solo. Somado a isso, ainda existem cidades que enfrentam problemas de abastecimento de água diante da grande demanda nos centros urbanos e da deterioração dos mananciais. Nesse contexto, caso a gestão de recursos hídricos não seja considerada prioridade, o adensamento urbano, a demanda pela produção alimentar e o desenvolvimento industrial trarão problemas futuros relativamente ao abastecimento de água (ANA, 2015).

O panorama é preocupante porque é perceptível que as políticas públicas associadas a gestão de recursos hídricos no Brasil, como um todo, apresentam muitas lacunas. Dessa forma, os padrões adotados demonstram ser baseados em referências internacionais ou orientações técnicas produzidas por instituições privadas. Todavia, em contrapartida à realidade existente em boa parte do país e ainda que de forma heterogênea, desde a falta de acesso ao saneamento até a promulgação de leis voltadas para sistemas de reúso da água, alguns estados e municípios criaram legislações para regular a prática do uso racional da água e reúso de águas residuais (ver quadro 3.11), ainda que essas legislações não definam critérios de qualidade rigorosos. Aparentemente, ficou a cargo da NBR 13969/1997 e definição dos critérios de qualidade da água para reúso.

Quadro 3.11: Legislações estaduais e municipais sobre reúso de águas (Rezende, 2016)

Estado/ Município	Legislação	Descrição
Curitiba	Lei Nº 10785, de 18 de setembro de 2003	Cria no município de Curitiba, o programa de conservação e uso racional da água nas edificações - PURAE.
Estado de São Paulo	Decreto nº 48.138, de 7 de outubro de 2003	Institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água no âmbito do Estado de São Paulo
Vitória	Lei nº 6259, de 23 de dezembro de 2004	Dispõe sobre o reúso de água não potável e dá outras providências.
Cuiabá	Lei nº 4748 de 07 de março de 2005	Dispõe sobre o reúso da água das estações de tratamento de esgoto.
Cidade de São Paulo	Lei nº 14.018, de 28 de junho de 2005	Institui o programa municipal de conservação e uso racional da água em edificações e dá outras providências.
Campinas	Lei nº 12.474 de 16 de janeiro de 2006	Cria o programa municipal de conservação, uso racional e reutilização de água em edificações e dá outras providências.
Manaus	Lei nº 1192, de 31 de dezembro de 2007	Cria, no município de Manaus, o programa de tratamento e uso racional das águas nas edificações - Pro-águas.
Florianópolis	Lei nº 8080, de 07 de dezembro de 2009	Institui programa municipal de conservação, uso racional e reúso da água em edificações e dá outras providências.

Continua ...

Estado/ Município	Legislação	Descrição
Aracaju	Lei nº 4026, de 28 de abril de 2011	Cria o programa de reúso de água em postos de gasolina e lava-rápidos no município de Aracaju e dá outras providências.
Niterói	Lei nº 2856 26 de julho de 2011	Instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas.
Juiz de Fora	Lei nº 12.448, de 22 de dezembro de 2011	Dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de alternativas tecnológicas, ambientalmente sustentáveis, nos prédios residenciais, comerciais com mais de dez unidades e nas edificações isoladas que menciona.
Paraíba	Lei nº 10.033, de 03 de julho de 2013	Institui a Política Estadual de Captação, Armazenamento e Aproveitamento da Água da Chuva no Estado da Paraíba, e dá outras providências.
Estado de São Paulo	Deliberação CRH nº 156, de 11 de dezembro de 2013	Estabelece diretrizes para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de sistemas públicos para fins urbanos.
Juiz de Fora	Lei Complementar nº 020, de 16 de dezembro de 2014.	Estabelece que os prédios públicos a serem edificados no Município de Juiz de Fora observem, em sua construção, alternativas tecnológicas ambientalmente sustentáveis.

Mais recentemente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução 430/11, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (ver quadro 3.12), os quais devem obedecer os seguintes requisitos:

“ Art. 16. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 a 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas:
1. óleos minerais: até 20 mg/L;
 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) ausência de materiais flutuantes; e
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;”.

Quadro 3.12: Padrões de lançamentos de efluentes (CONAMA, 2011)

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

A situação atual do Brasil, ainda que não seja reflexo de acontecimentos recentes, foi marcada por uma crise hídrica na região sudeste do país, em 2014, o que tem despertado a atenção e conscientização das pessoas no que se refere à importância do uso racional dos recursos hídricos, do controle de perdas e desperdícios e do reúso da água residual. Contudo, por não dispor de normatização técnica específica para os sistemas de reúso da água, além da falta de orientação técnica para a implantação de sistemas de reúso, a saúde da população fica vulnerável (Rezende, 2016).

Em virtude da existência de tratamento de esgotos sanitários em algumas cidades brasileiras, mesmo que de forma heterogênea, é importante que sejam cada vez mais aplicadas tecnologias apropriadas ao tratamento e reúso das águas residuais urbanas como alternativa para usos não potáveis, pois essa é uma opção que assegura a minimização na deterioração das fontes de água de melhor qualidade.

3.6.2 Portugal

O desenvolvimento das práticas de reutilização de águas residuais em Portugal tem se intensificado de forma inovadora, principalmente quando se fala da reutilização da água como estratégia de combate à escassez de recursos hídricos. Nesse aspecto, além da indisponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para a satisfação das necessidades, existem as consequências das alterações climáticas. Relativamente às alterações climáticas, o PENSAAR 2020 evidencia, através da Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, impactos na disponibilidade espacial e temporal de recursos hídricos, na qualidade da água e na possibilidade de maior ocorrência de eventos extremos, como secas e cheias (APA, 2015). O turismo em Portugal é uma das atividades de maior impacto, no que se refere à escassez de recursos hídricos, pois somado ao elevado consumo sazonal de água, existe o fato de as concentrações turísticas se situarem nas zonas costeiras, de escassa precipitação e elevada insolação (Monte & Albuquerque, 2010). Pereira (2017) complementa esta informação destacando que na Bacia Hidrográfica Ribeiras do Algarve, por exemplo, o turismo é responsável pelo aumento do consumo de água na medida em que o consumo diário de um turista excede em grande escala o consumo de um habitante local, pois para além do uso pessoal a demanda refere-se à manutenção de atividades recreativas.

Relativamente ao desenvolvimento da reutilização de águas residuais em Portugal, existem diversos motivos para que essa prática ainda não seja tão disseminada. Dentre os motivos, talvez o mais relevante seja o receio associado ao desconhecimento por parte dos promotores de projetos de reutilização e até das autoridades responsáveis pela aprovação e licenciamento desses projetos, diante dos possíveis riscos sanitários e ambientais (Monte & Albuquerque, 2010). Assim, um dos entraves à celeridade na implementação de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas é o sistema institucional, seja por receio ou desconhecimento, por não facilitar as iniciativas dos promotores desses sistemas através de empecilhos e atrasos na obtenção de pareceres favoráveis das autoridades competentes. Outro desafio é o fato de a origem e as características das águas residuais tratadas estarem sujeitas à resistência pública.

O tratamento de águas residuais urbanas em Portugal é regulado pelo Decreto-Lei nº 152/97, que transpõe a Diretiva nº 91/271/CEE, e pelo Decreto-Lei nº 149/04, os quais de acordo com Monte & Albuquerque (2010), estabelecem que para licenciar a descarga de águas residuais urbanas na natureza é necessário que estas passem por pelo menos um tratamento secundário, podendo ser solicitados tratamentos superiores, dependendo do aumento da população servida e da sensibilidade do meio receptor. Ainda segundo o Decreto-Lei nº 152/97, o cumprimento desta recomendação implica em grande esforço político, técnico e financeiro, aliados à uma análise adequada de soluções técnicas de drenagem e tratamento de águas residuais urbanas.

É importante destacar que o tratamento secundário, com base nos parâmetros definidos no Decreto-Lei nº 152/97, pode não garantir a qualidade das águas residuais destinadas a determinados usos, apesar de ser substancial a diminuição de poluentes e substâncias nocivas, em geral. Nesse contexto, o quadro 3.13 exemplifica que águas residuais submetidas à tratamento secundário ainda apresentam alguns poluentes que podem causar impactos ambientais em possíveis aplicações de reúso.

Quadro 3.13: Valores típicos de alguns parâmetros característicos para diferentes tipos de águas residuais urbanas (Adaptado de Crites & Tchobanoglous, 1998 e Metcalf & Eddy, 2003 citado por Monte & Albuquerque, 2010)

Parâmetro	Unidades	Águas residuais		
		Não tratadas	Após tratamento primário	Após tratamento secundário
CBO5	mg/L	150-400	100-250	20-40
CQO	mg/L	350-1000	200-500	80-140
SST	mg/L	100-350	80-140	10-50
N-tot	mg/L N	50-80	30-50	5-15
N-NH	mg/L NH4	25-50	20-40	10-20
P-tot	mg/L P	15-20	10-15	5-10
Coliformes fecais	N.º/100 ml	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁶ -10 ⁸	10 ² -10 ⁷

Levando em consideração que o presente estudo destaca a reutilização de águas residuais para rega agrícola, será considerado o Decreto-Lei 236/1998 do Diário da República, em Portugal, o qual estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

A respeito das normalizações adotadas em Portugal sobre a reutilização de águas residuais, destaca-se a norma portuguesa (NP) 4434:2005, a qual se aplica à reutilização de águas residuais urbanas na rega de culturas agrícolas, florestais, ornamentais, viveiros, relvados e outros espaços verdes. A NP 4434 adota critérios de qualidade das águas residuais tratadas para rega agrícola e paisagística, conforme o quadro 3.14. É importante ressaltar que os parâmetros que não apresentam valores de concentração como referência, não são essenciais para esta aplicação de reúso.

Quadro 3.14: Critérios de qualidade recomendados para reutilização de águas residuais tratadas para rega agrícola e paisagística em Portugal (Adaptado da NP 4434:2005 citada por Monte & Albuquerque, 2010).

SDT	Azoto	Fósforo	Dureza	Alcalinidade	Outros	Fe	SiO2	Turvação	Coliformes fecais	Ovos de helmintas
(mg/L)		(mg/L P)	(mg/L CaCO3)		(mg/L)			(UNT)	(UFC/100mL)	(nº/L)
640					5					
	50ª até VL	2 - 3			Ph, Ce, Al, As, Ba, Be, B, Cd Pb, Cl, Co, Cu, Xr, Sn, F, Li, Mn, Mo, Ni, Se, SO4 =, V, Zn	5			10 ²	1
						5		10	200	1
						5			10 ³	1
						5		NR	10 ⁴	1

SST	CBO5		20 - 60			
	Unidades	REGA AGRÍCOLA E PAISAGÍSTICA	Produtos hortícolas de consumo em cru.	Espaços verdes de contacto directo com o público.	Produtos hortícolas de consumo após processamento, pastagens, vinha, pomares.	Searas, culturas industriais, floresta e espaços verdes de acesso controlado.

^a Como N-NO3

Ainda no que se refere às políticas públicas no domínio da gestão de recursos hídricos para o uso eficiente da água, destaca-se a reformulação do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água – PNUEA (2012-2020), que visa maior eficácia para a eficiência no uso da água, principalmente nos setores urbano, agrícola e industrial. Destaca-se ainda o Plano de Ação para a Economia Circular – PAEC (2017-2020), onde a eficiência hídrica é elemento chave no âmbito dos usos da água, redução dos consumos e perdas, aproveitamento de águas pluviais e residuais tratadas e também aplicação de lamas na agricultura (APA, 2018).

Em suma, relativamente à temática deste trabalho, a garantia do desenvolvimento da reutilização da água em Portugal, deve estar alicerçada não apenas no conhecimento científico e tecnológico aplicado ao tratamento de águas residuais e impactos sanitários e ambientais possíveis, mas também na adaptação do sistema institucional e normativo de gestão dos recursos hídricos de modo a assegurar credibilidade à essa estratégia e ainda estimular a aceitação da prática de reutilização das águas residuais por parte do público (Monte & Albuquerque, 2010).

3.7 Conceitos que estruturam a Avaliação de Riscos

Antes de caracterizar uma avaliação de riscos voltada para o estudo em questão, é importante destacar nesta secção alguns conceitos gerais que servem de base para o entendimento do assunto abordado posteriormente.

Segundo Luhmann (1990) citado por Brüseke (1996), risco e perigo diferenciam-se no sentido de que riscos tratam-se de possíveis danos que são consequências de decisões. O perigo, em contrapartida, trata-se de algo mais imprevisível de modo que os danos têm relação com causas fora do próprio controle. Nesse ponto de vista, percebe-se a interligação entre risco e perigo apesar de risco ter um

caráter mais consciente por ser consequência da própria ação, enquanto o perigo é consequência de elementos externos.

Dagnino e Carpi Jr (2007) entendem que os conceitos de riscos se adaptam conforme os casos em questão e o termo pode ser associado à susceptibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade e danos potenciais, de modo que só a possibilidade de algo ocorrer já configura um risco.

Na perspectiva deste estudo, podemos destacar os riscos ambientais e sociais, em virtude da sua relevância para a metodologia de avaliação de riscos e os resultados obtidos. Para Brüseke (1996), o risco ambiental não pode ser confundido com algo programado, ou seja, não é possível estabelecer uma série de determinações que resultam em um prognóstico. Dessa forma, é importante destacar o caráter de complexidade aliado ao tema, pois além dos conceitos que compõem a avaliação de riscos, tais como perigos, eventos perigosos e vias de exposição, no que se refere a identificação do perigo, é preciso considerar também os fatores condicionantes como alerta, os quais conferem uma maior gama de resultados possíveis em virtude das particularidades das zonas onde é feita a avaliação de risco.

O risco social é interpretado, segundo Vieillard-Baron (2007) citado por Brüseke (1996), como algo associado às causas sociais e/ou consequências humanas. Portanto, para o autor, os riscos sociais classificam-se como riscos endógenos, os quais relacionam-se a ameaças externas e elementos naturais, e riscos exógenos, os quais têm relação com o produto das cidades e às formas de política e administração adotadas.

Rebelo (2003) refere-se ao conceito de risco associado ao conceito de vulnerabilidade no sentido em que para o autor, risco caracteriza-se como algo que não está ligado à vontade humana, ou seja, existe a idéia de aleatoriedade e casualidade. A vulnerabilidade, em contrapartida, é produto da presença direta ou indireta do homem.

A fundamentação feita anteriormente, portanto, auxilia ao entendimento da estrutura de avaliação de riscos deste estudo, cuja composição é feita basicamente pela caracterização dos efeitos esperados, através do perigo, o tipo de exposição ao fator de risco, assim como as medidas de controle para sanar ou mitigar os efeitos adversos previstos. Além disso, a avaliação conta com a estimativa da probabilidade de ocorrência dos efeitos esperados, aliada ao nível de severidade a fim de se estabelecer um nível de risco, conforme escala estabelecida a priori.

3.7.1 Tipologia dos resíduos, potenciais perigos e eventos perigosos

O quadro abaixo apresenta a constituição de resíduos com suas respectivas tipologias relacionadas às categorias de possíveis perigos. Dentre as frações consideradas, é de salientar que a água residual doméstica apresenta quase a totalidade dos potenciais perigos, em escala biológica, química e física, o que aponta para a atenção relativamente aos níveis de tratamento necessários para sua reutilização em determinados fins.

Quadro 3.15: Frações dos resíduos e potenciais perigos para a saúde (Adaptado de WHO, 2015)

	CONSTITUIÇÃO DOS RESÍDUOS									
	POTENCIAIS PERIGOS BIOLÓGICOS					POTENCIAIS PERIGOS QUÍMICOS		POTENCIAIS PERIGOS FÍSICOS		
	Vírus	Bactérias	Protozoários	Helminthas	Doenças transmitidas por vetor	Químicos tóxicos	Metais pesados	Objetos perfurantes	Material inorgânico	Maus cheiros
Fração líquida										
Dejetos diluídos (humano ou animal)	X	X	X	X						X
Urina (humana ou animal)	X	X	X	X		X ^{Nota 2}				X
Água residual doméstica	X	X	X	X	X	X ^{Nota 2}		X	X	X
Água da chuva	X	X	X	X	X	X	X	X		
Água do rio	X	X	X	X	X	X	X			
Água residual industrial ^{Nota 1}						X	X			
Fração sólida										
Lama fecal	X	X	X	X	X			X	X	X
Lama de ETARs	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Resíduos orgânicos domésticos	X	X			X					
Resíduos inorgânicos domésticos						X	X	X	X	
Resíduos agrícolas (resíduos de colheitas)	X	X	X	X	X			X	X	
Resíduos de jardinagem					X				X	
Estrume / Chorume	X	X	X	X	X				X	
Resíduos hospitalares	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Resíduos industriais						X	X	X	X	X
Resíduos de matadouros	X	X	X	X	X		X			X
Resíduos de construção e demolição								X	X	X

Nota¹: A extensão dos potenciais perigos associados a efluentes industriais pode variar muito. Por exemplo, os perigos associados a resíduos industriais podem incluir patogênicos e químicos.

Nota²: Frações líquidas que correspondem à presença de possíveis produtos farmacêuticos e disruptores endócrinos.

WHO (2015) informa que os eventos perigosos podem estar relacionados com fatores climáticos, fatores sazonais, falhas do sistema, acidentes, origens distintas de resíduos e existência a montante do impacto oriundo do desenvolvimento industrial e urbano. Além disso, WHO (2015) destaca diversas medidas (infraestruturais, operacionais e comportamentais) para reduzir o nível de risco e controlar os eventos perigosos. Dentre estas medidas, cita a construção de uma nova estação/ unidade de tratamento (como exemplo de medida infraestrutural), a limitação nas práticas de rega (como exemplo de medida operacional) e a melhoria do equipamento de proteção individual (como exemplo de medida comportamental).

3.7.2 Vias de exposição e de transmissão

Os perigos que ameaçam a saúde estão associados a vias de exposição e transmissão (ver quadro 3.16), as quais podem manifestar-se de forma primária (Contato direto através da pele com dejetos humanos e águas residuais), secundária (Consumo de produtos contaminados), por veículo (Ingestão de água subterrânea/superficial contaminada), por vetores (Dejetos humanos transferidos por moscas ou picadas de insetos que podem portar doenças) e por via aérea (Rega com águas residuais).

Quadro 3.16: Vias de exposição e de transmissão relevantes (WHO, 2015)

VIAS DE EXPOSIÇÃO E DE TRANSMISSÃO	DESCRIÇÃO
Ingestão após contacto com águas residuais/dejetos humanos	Transferência de dejetos humanos (urina ou fezes) através de contacto direto das mãos com a boca ou de objetos em contacto com a boca, incluindo a ingestão de solo contaminado através do contato com as mãos (e.g., agricultores ou crianças).
Ingestão de água subterrânea/superficial contaminada	Ingestão de água, de origem subterrânea ou superficial contaminada com águas residuais ou dejetos humanos / lamas incluindo a ingestão involuntária de águas balneares pelos nadadores / banhistas.
Consumo de produtos contaminados (vegetais)	O consumo de produtos agrícolas (e.g., alface) que foram cultivadas em terras regadas ou fertilizadas com um subproduto de saneamento.
Contacto direto através da pele com dejetos humanos e águas residuais	Infeção onde um patogénico (e.g. ancilóstomos) entra através da pele, pelos pés ou outra parte do corpo exposta, após o contato com águas residuais, dejetos humanos, defecação a céu aberto, escorrências de equipamentos de saneamento ou durante a operação (e.g. esvaziar a fossa).
Transmissão por vetores moscas/mosquitos	Vias de transmissão incluem a transferência de dejetos humanos por moscas a uma pessoa ou a alimentos, e picadas de mosquito ou outros insetos que podem ser portadores de doença.
Inalação de aerossóis e partículas	A inalação de micro-gotículas de água e partículas (que podem não ser visíveis) que provêm das instalações de tratamento, e que podem conter patogénicos.

Notas: Transmissão primária inclui o contacto direto com fezes ou superfícies sujas com fezes, e também contacto pessoa a pessoa o que, neste contexto, está relacionada com a higiene pessoal. A transmissão secundária inclui a transmissão através de um veículo (alimentos, água etc.) ou por vetores. A transmissão por veículo é através da contaminação de, por exemplo, culturas ou origens de água. A transmissão por vetores é principalmente através da criação de locais de reprodução dos vetores. A transmissão por via aérea também pode ocorrer, por exemplo, durante a rega com águas residuais.

Segundo a USEPA (1992b) as vias de exposição ao poluente, juntamente com a frequência, magnitude e duração, são determinados pela avaliação da exposição, a qual divide-se em três etapas: Caracterização do cenário (características gerais da população, local e fontes de exposição), Identificação das vias de exposição (possíveis fontes, tipos e localização de lançamentos e localização das atividades da população exposta) e estimativa da exposição (concentração de poluentes que entrarão em contato com a população por diferentes vias de exposição, adquirida por dados de monitoramento ou modelos estatísticos).

3.7.3 Medidas de controle

As medidas de controle são aplicadas para prevenir, reduzir a um nível aceitável ou eliminar um perigo relacionado com o saneamento. Para um controle mais eficiente, faz-se necessário pelo menos mais de uma medida de controle, configurando uma abordagem de múltiplas barreiras (ver quadro 3.17). No que se refere à eficácia, as medidas de controle são classificadas entre MUITO BAIXA – ELEVADA, dependendo do processo de tratamento e, quando disponível, dos valores de redução logarítmica (WHO, 2015).

Quadro 3.17: Medidas de controle (WHO, 2015)

TIPOS DE MEDIDAS DE CONTROLO	EXEMPLOS
Tratamento	<ul style="list-style-type: none">• Sedimentação física (e.g., tanque de sedimentação);• Processo biológico (e.g., lamas ativadas);• Adsorção (e.g., em leitos de macrófitas);• Inativação biológica (e.g. compostagem);• Inativação química (e.g., secagem de lamas (controlada por pH, temperatura) e desinfecção)
Sem tratamento	<ul style="list-style-type: none">• Seleção de colheitas;• Tipo de rega;• Tempos de retenção;• Controlo de vetores e hospedeiros intermediários;• Vacinação e quimioterapia preventiva.
Comportamental	<ul style="list-style-type: none">• Uso de equipamento de proteção individual;• Acesso restrito a locais de tratamento ou de operação;• Desinfetar, lavar e cozinhar os produtos agrícolas. <p>Nota: As medidas de controlo comportamentais são muitas vezes combinadas com as barreiras de tratamento e com outras sem ser tratamento. As práticas comportamentais são dependentes de valores e preferências individuais (e.g., medos, fobias, hábitos), restrições (e.g., custo, tempo, interesses), sentido de responsabilidade, e percepções e práticas sócio-culturais, podendo ser reforçadas com a promoção da saúde e higiene.</p>

Uma abordagem de múltiplas barreiras, voltada pro uso de águas residuais na agricultura, por exemplo, pode evitar exposições à patógenos e produtos químicos por meio de combinações, as quais segundo WHO (2006b) compreendem:

- Tratamento de águas residuais, através da remoção de patógenos e produtos químicos tóxicos;
- Restrição de produção, através de culturas que não são consumidas diretamente;
- Aplicação, através da adoção de técnicas que reduzem a exposição dos trabalhadores às águas residuais e período adequado para colheita de culturas irrigadas com águas residuais;
- Controle de exposição, através da limitação de acesso público em áreas irrigadas com águas residuais e uso de equipamentos de proteção adequados pelos trabalhadores;

- Lavagem, desinfecção e cozimento de produtos, através da lavagem adequada de produtos domésticos com água potável e/ou desinfetantes químicos e cozimento dos alimentos.

O tratamento das águas residuais associado às medidas de controle que constam no quadro 3.18, atua como mitigador de perigos relacionados ao saneamento. Entretanto, o sucesso da mitigação é proporcional ao tipo de alternativa adotada no tratamento. Além disso, é importante lembrar que circunstâncias externas também influenciam diretamente a gestão do risco, o que implica grande complexidade ao assunto.

Quadro 3.18: Medidas de controle relacionadas com o tratamento de águas residuais (Adaptado de WHO, 2015)

ALTERNATIVA	EFICÁCIA/ REDUÇÃO LOGARÍTMICA	COMENTÁRIOS
Lagoas de estabilização, lagoas aeróbias, armazenamento de águas residuais	ELEVADA 2-5 logs	A eficácia depende da configuração e do tempo de armazenamento, das cargas afluentes, dos tempos de retenção, do perfil hidráulico e da eficiência da sedimentação. Outras situações que devem ser consideradas na gestão do risco para os trabalhadores e comunidade local incluem: <ul style="list-style-type: none"> • Potencial reprodutivo do mosquito vetor; • Caracol hospedeiro intermediário de <i>Schistosoma</i> spp. e o controle da vegetação associada; • Vedações; • Possível exfiltração das lagoas com impacto nas águas subterrâneas (e.g., utilização de argila ou outro material como revestimento da lagoa).
Leitos de macrófitas	MÉDIA 1-3 logs	A eficácia depende da configuração do projeto (por exemplo, escoamento superficial ou escoamento subsuperficial), cargas afluentes e tempos de retenção. Outros problemas associados a considerar na gestão do risco para os trabalhadores e comunidade local incluem: <ul style="list-style-type: none"> • Potencial reprodutivo do mosquito vetor; • Caracol hospedeiro intermediário de <i>Schistosoma</i> spp.; • Controle de vegetação; • Impacto dos dejetos de animais selvagens; • Possíveis fugas dos leitos de macrófitas com impacto nas águas subterrâneas.
Tratamento biológico e químico	MÉDIA 1-3 logs	Medidas de controle dependentes das configurações de projeto e processo de tratamento.
Processos avançados	ELEVADA 2-6 logs	

3.7.4 Monitorização

A monitorização tem como função coletar dados para supervisionar as medidas de controle e garantir que sua operação ocorra conforme o planejado, além de prever tendências futuras. Considerando que para cada etapa de saneamento existem medidas de controle a serem tomadas, o quadro que segue

apresenta a organização destas etapas para direcionar a monitorização sobre suas respectivas medidas de controle.

Quadro 3.19: Exemplo de Resumo do plano de monitorização operacional para medidas de controle (WHO, 2015)

ETAPA DE SANEAMENTO	MEDIDAS DE CONTROLO QUE DEVEM TER MONITORIZAÇÃO OPERACIONAL
Produção de resíduos	Não há medidas de controlo prioritárias a curto prazo. Como medida de prioridade baixa, a regulamentação e fiscalização sobre descarga de efluentes industriais e de unidades de saúde deve ser melhorada para manter baixo o risco relacionado com os químicos.
Transporte e drenagem	Educação e promoção da segurança ao longo dos canais abertos / valas de drenagem e em práticas de rega segura pela comunidade local. Equipamento de proteção individual (para trabalhadores dos limpa fossas e da rede de esgotos).
Tratamento / processamento	Melhoria do desempenho da estação - ligado aos planos de melhoria da estação. A monitorização inclui o controlo de caudal, de oxigénio dissolvido, e análise à qualidade do efluente, etc.. Equipamento de proteção individual (para trabalhadores dos limpa fossas e da rede de esgotos).
Uso ou eliminação de subprodutos do tratamento de águas residuais	Época de aplicação dos subprodutos de saneamento e de colheita dos produtos agrícolas. Equipamento de proteção individual (para trabalhadores agrícolas).
Consumo ou uso do produto	Educação e promoção de boas práticas de preparação de alimentos em segurança.

3.8 Avaliação de Riscos

A utilização de águas residuais tratadas tem potencialidade para impactos positivos e negativos. Nesse sentido, da mesma forma que as águas residuais possuem matéria orgânica que serve como fonte de nutrientes para as plantas, existem componentes nocivos que apresentam-se na forma de elementos químicos e microbiológicos patogênicos, os quais não são totalmente removidos ou inativados nas estações de tratamento, a depender do tipo de tratamento aplicado. Quando isso ocorre, os resquícios desses componentes nocivos presentes no efluente tratado podem configurar a causa de alguns riscos para a saúde pública e para o ambiente.

Os estudos sobre a avaliação de riscos na saúde pública surgiram nos EUA, na década de 80, e esta disciplina configura uma das três fases aplicadas na análise de risco, a qual ainda inclui a gestão dos riscos e a comunicação dos riscos (Monte & Albuquerque, 2010).

Quadro 3.20: Estrutura de Análise de Riscos (Adaptado de Monte & Albuquerque, 2010, e WHO, 2015)

ANÁLISE DE RISCOS

AVALIAÇÃO DE RISCOS	GESTÃO DE RISCOS	COMUNICAÇÃO DOS RISCOS AOS INTERESSADOS
<ul style="list-style-type: none"> • Caracterização dos efeitos expectáveis na saúde (perigo); • Estimativa da probabilidade da ocorrência dos efeitos; • Número de casos afetados pelos efeitos; • Proposta de concentração aceitável do constituinte que induz o risco de ocorrência do perigo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimização de contato das plantas com águas de rega constituídas por águas residuais submetidas a desinfecção parcial, o que se consegue através do método de rega; • Seleção de plantas cuja parte consumível não entra em contato com a água de rega; • Seleção do método de rega. 	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de formação em higiene e segurança dos trabalhadores; • Sensibilização e formação aos principais grupos expostos para melhorar o cumprimento de medidas de controle que exigem mudança de comportamento; • Campanhas de sensibilização pública, incluindo a formação dos trabalhadores sobre as melhores práticas divulgadas nestas campanhas; • Formação em práticas agrícolas mais eficientes para os utilizadores de água.

A avaliação de riscos, no entendimento de Monte & Albuquerque (2010), visa proporcionar informação aos gestores do risco, nomeadamente legisladores e reguladores, através dos componentes destacados no quadro 3.20.

Ainda que a análise de risco configure um importante instrumento de apoio à tomada de decisão, a sua aplicação à reutilização da água apresenta algumas limitações, principalmente em relação ao parâmetro dose-resposta, como é o caso de uma contração de infecção, por exemplo, pois muitos sintomas de infecção são provenientes do contato com outras pessoas e não obrigatoriamente pelo contato com patógenos presentes nas águas residuais. Dessa forma, a normatização e regulamentação sobre reutilização de águas residuais não devem tomar como base absoluta uma análise de risco, em virtude das possíveis imprecisões na obtenção de dados (Monte & Albuquerque, 2010).

A avaliação de risco neste trabalho, pretende destacar as possíveis repercussões negativas, nomeadamente na utilização de águas residuais urbanas tratadas em irrigação, rega agrícola e paisagística, referente aos aspectos sociais e ambientais. Conforme Schaer (2012), é necessária a adoção de maneiras que permitam a melhor e mais eficiente utilização de tais recursos, a fim de minimizar os riscos intrínsecos a essa prática, que podem ser associados aos riscos à saúde pública, riscos ambientais e até riscos econômicos. Nesse contexto, a análise de riscos é um estudo que visa a identificação dos perigos de uma atividade, projeto ou área, seguido pela estimativa do risco existente para possíveis receptores. Dentre as etapas que compõem a análise de riscos, existe o gerenciamento de riscos, o qual utiliza principalmente as considerações provenientes da avaliação de riscos visando

à redução das frequências e consequências de perigos e acidentes (Viana, D. B., 2010). Diante da existência potencial de muitos perigos, muitos eventos perigosos e muitas medidas de controle, o objetivo da avaliação de riscos é a identificação dos riscos críticos, visando a garantia da segurança de um sistema específico de abastecimento de água, através da seleção dos melhores passos para melhorar a segurança do sistema. Dessa forma, a quantificação de riscos que impactam na saúde é importante para a avaliação de riscos, por exemplo (WHO, 2016).

Conforme destaca Veiga & Fernandes (1999), é importante ficar claro, entretanto, a rara disponibilidade de informações diretas relativamente aos riscos à população na natureza, comparáveis a dados de epidemiologia humana. Dessa forma, para avaliar, por exemplo, os efeitos ambientais de substâncias químicas tóxicas, é preciso extrapolar estimativas de risco com base em testes de toxicidade feitos em laboratório ou através de experimentos de campo. Vale lembrar que aplicabilidade, quantidade e qualidade dos possíveis testes varia muito em relação às substâncias químicas. Somado a isso, é preciso atentar para o comprometimento das extrapolações, haja vista a possibilidade de caracterizações incompletas da composição das espécies nos ambientes afetados, interações bióticas entre as populações expostas e interações com outros elementos que podem afetar as populações expostas. Portanto, em virtude da variabilidade de pontos de interferência (*end-points*) e dos tipos de dados necessários, conclui-se que nenhum método de avaliação de risco pode ser considerado de forma isolada para ponderar as extrapolações referentes às substâncias químicas e *end points* de interesse, o que aponta para a aplicação de avaliações complementares.

No que se refere à aplicação agrícola de águas residuais, por exemplo, o meio mais eficaz para a garantia de segurança é através de uma abordagem ampla de avaliação de risco e gestão de riscos que considera as etapas de todo o processo, desde a geração de resíduos ao tratamento e uso de águas residuais. A abordagem comentada em WHO (2006a), cuja referência é o Quadro de Estocolmo², busca alcançar metas na saúde através dos componentes: Avaliação do sistema, identificação de medidas e métodos de controle para monitorá-las e desenvolvimento de um plano de gerenciamento.

O controle e a mitigação dos riscos ambientais e de saúde pública associados à reutilização de águas residuais é indispensável, pois apesar da existência de sistemas de tratamento adequadamente planejados, existem parâmetros que determinam diferentes variáveis na composição do efluente, o que aponta para a necessidade da adoção de instrumentos e regulamentos de controle e investigação de forma constante. Nesse sentido, a APA (2015) recomenda que a nível de gestão, devem ser elaborados planos de emergência onde o desenvolvimento de programas de intervenção conduzem à identificação de zonas de risco e análise de vulnerabilidade, com o apoio de dados como a toxicidade dos contaminantes, o número de pessoas afetadas, etc.

² O Quadro de Estocolmo é uma abordagem integrada que combina avaliação e gerenciamento de riscos para controlar doenças relacionadas à água (WHO, 2006b).

Uma das medidas de controle e mitigação dos impactos ambientais e de saúde pública associados à reutilização de águas residuais na rega agrícola, por exemplo, é a seleção do método correto de rega, o qual se aplica de acordo com o tipo de cultura, topografia e características do terreno. Dentre os principais métodos, Monte & Albuquerque (2010) citam quatro tipos de rega: por sulcos, por aspersão, gota-a-gota e subsuperficial. Estes autores explicam ainda que rega por sulcos aplica-se à uma área pontual do terreno com abertura de pequenos canais nas linhas de cultura com infiltração vertical e horizontal. Já a rega por aspersão promove a simulação de chuva, sendo adequada para diversos tipos de cultura, solos e topografia. A rega gota-a-gota ocorre quando se utilizam gotejadores para a irrigação das plantas, onde o contato da água ocorre apenas com a raiz da planta e parte do solo, o que configura o método de melhor custo benefício. Além destes, a rega subsuperficial distribui a água de uma forma indireta através de uma tubagem enterrada, sendo este método o que oferece menos risco de contaminação.

No que se refere à proteção da saúde pública, Monte & Albuquerque (2010), recomendam as seguintes iniciativas: a) tratamento apropriado da água para que seja utilizada na rega com qualidade microbiológica apropriada; b) diminuição do contato humano com os fatores de risco.

A rega paisagística, por sua vez, inclui a rega de parques, jardins, faixas de separação de pistas em auto-estradas (canteiros centrais) e relvados de campos desportivos (campos de golfe). Segundo Monte & Albuquerque (2010) os americanos são os que mais reutilizam a água para rega paisagística, contudo a Europa e o Extremo Oriente possuem uma tendência significativa de aumento desta prática. Um exemplo é a rega com águas residuais tratadas em campos de golfe na região do Algarve (Portugal). Nessa categoria de rega, a salinidade das águas residuais é o fator mais relevante, no que se refere à tolerância das plantas ornamentais. Não menos importante é a garantia de um baixo teor de matéria orgânica e de nutrientes, o que previne o desenvolvimento de algas nos reservatórios abertos.

O controle e mitigação dos riscos ambientais e de saúde pública associados à reutilização de águas residuais tratadas, tanto na rega como em outras aplicações, pode ser facilitado através da especificação de valores para os parâmetros de qualidade das águas, tipo de processo ou nível de tratamento, requisitos de controle do projeto e da operação.

Hespanhol, I. (2002), aponta que as diretrizes produzidas para assegurar o uso seguro de efluentes são baseadas em pesquisas científicas e estudos epidemiológicos, com o objetivo de proporcionar informação básica e orientação para a tomada de decisões acerca dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Entretanto, de acordo com Hespanhol, I e Prost, A.M.E (1994) é importante destacar que as diretrizes não são definidas a fim de uma aplicação absoluta, mas são de caráter referencial no sentido de estabelecer uma base de riscos aceitáveis, para a elaboração de normas e padrões. É necessário, portanto, considerar não só as especificações supracitadas, como também uma variedade de condições geográficas, socioeconômicas e industriais, etc.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2019), em complemento, defende que a garantia da flexibilidade e da segurança sobre a reutilização de águas residuais se apoia em quatro aspectos: a) Fit-for-Purpose, o qual indica adequabilidade da água ao uso pretendido; b) Análise de risco, utilizada para identificar eventuais perigos e cenários de exposição com o objetivo de garantir o mínimo risco possível; c) Multi barreira, onde barreiras físicas e químicas reduzem as vias de exposição diretas e indiretas; d) Monitorização, que supervisiona a qualidade da água desde a produção até a utilização final.

3.8.1 Efeitos sociais

Os efeitos da utilização de águas residuais urbanas na irrigação para a saúde humana podem ser tanto positivos como negativos. Na perspectiva dos efeitos positivos estão associados a produção de alimentos e o consequente aumento de renda, nutrição e qualidade de vida em zonas pobres. Os efeitos negativos consistem na presença de elementos patogênicos e compostos químicos tóxicos nos efluentes, os quais geralmente são removidos de modo insuficiente em processos de tratamento.

Os trabalhadores agrícolas, manipuladores de culturas, consumidores e moradores que vivem próximo a áreas irrigadas com águas residuais são considerados grupos de risco. De um modo geral, o estado de saúde e a idade do indivíduo indicam a susceptibilidade de contrair doenças provenientes do uso de água residual. De acordo com Monte & Albuquerque (2010) as águas residuais utilizadas na rega podem transmitir microrganismos patogênicos por diversas vias, como por exemplo através do contacto e ingestão direta de culturas irrigadas, além da inalação de agentes infecciosos e ingestão de água contaminada.

Sem dúvidas, os microrganismos patogênicos representam a maior ameaça à saúde humana, pois possibilitam a manifestação de doenças infecciosas (ver quadro 3.21). Shakir, Zahraw & Al.-Obaidy (2016), destacam que a presença de microrganismos patogênicos pode ser mitigada com tratamento, porém não eliminada por completo. Segundo Monte & Albuquerque (2010), a origem destes microrganismos pode ocorrer através das excreções de pessoas infectadas, além de resíduos de origem animal, de indústrias e de águas pluviais.

Quadro 3.21: Principais patógenos detectados nas águas residuais (Bosh, 1998 e Gerba & Smith, 2005 citado por ANA, 2015b)

Patógenos	Doenças ou sintomas causados no organismo
Bactérias	
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterite
<i>Escherichia coli</i> enteropatogênica	Gastroenterite
<i>Salmonella spp.</i>	Febre tifóide e gastroenterite
<i>Shigella spp.</i>	Disenteria bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Yersinia spp.</i>	Gastroenterite aguda
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Distúrbios digestivos e dores abdominais
<i>Hymenolepis nana</i>	Himenolepiase
<i>Necator americanus</i>	Ancilostomose
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidíase
<i>Taenia saginata</i>	Teníase
<i>Taenia solium</i>	Teníase, cisticercose
<i>Trichuris trichiura</i>	Dores abdominais, diarreias, anemia, perda de peso
Protozoários	
<i>Balantidium coli</i>	Diarréia, disenteria
<i>Entamoeba histolytica</i>	Disenteria amébrica
<i>Cryptosporidium</i>	Gastroenterites, criptosporidiose
<i>Giardia intestinalis</i>	Giardiase
Vírus	
<i>Rotavírus humanos</i>	Gastroenterite aguda com diarréia grave
<i>Adenovírus humanos</i>	Gastroenterite, infecções respiratórias e conjuntivite
<i>Norovírus</i>	Gastroenterites epidêmicas com grave diarréia
<i>Astrovírus humanos</i>	Gastroenterite
<i>Parvovírus humanos</i>	Gastroenterite
<i>Coronavírus humanos</i>	Gastroenterite e doenças do trato respiratório
<i>Torovírus humanos</i>	Gastroenterite
<i>Vírus da hepatite A</i>	Hepatite
<i>Vírus da hepatite E</i>	Hepatite
<i>Poliovírus</i>	Paralisia, meningite, febre
<i>Coxsackievírus</i>	Meningite, pneumonia, hepatite, febre
<i>Echovírus</i>	Meningite, paralisia, encefalite, febre

Uma outra questão a ser considerada é quanto à concentração de microrganismos patogênicos nas águas residuais, pois é preciso perceber a interferência de outros fatores, tais como o estado de saúde da população, como citado anteriormente, além de fatores condicionantes da sobrevivência dos próprios microrganismos que compreendem desde as características inerentes ao solo, o tipo de microrganismo, temperatura, etc. Ainda é importante destacar que a concentração de microrganismos patogênicos está associada ao nível de tratamento das águas residuais. Somado aos fatores citados e não menos relevantes são as características epidemiológicas dos diferentes tipos de microrganismos patogênicos presentes na água (ver quadro 3.22), como também do nível de exposição da população ao contato com a água reutilizada, dependendo, portanto, da finalidade e forma de reutilização dos efluentes, conforme o quadro 3.24:

Quadro 3.22: Características epidemiológicas dos diferentes tipos de microrganismos patogênicos presentes nas águas residuais urbanas (Feachem et al., 1983)

Microrganismos patogênicos	Carga excretada ^a	Latência ^b	Persistência ^c	Dose infecciosa mediana (ID50)
Vírus				
Enterovírus*	10 ⁷	0	3 meses	Baixa
Vírus hepatite A	10 ⁶ (?)	0	?	Baixa (?)
Rotavírus	10 ⁶ (?)	0	?	Baixa (?)
Bactérias				
<i>Campylobacter fetus ssp. jejuni</i>	10 ⁷	0	7 dias	Elevada (?)
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁸	0	3 meses	Elevada
<i>Salmonella typhi</i>	10 ⁸	0	2 meses	Elevada
Outras salmonelas	10 ⁸		3 meses	
<i>Shigella spp.</i>	10 ⁷	0	1 mês	Mediana
<i>Vibrio cholerae</i>	10 ⁷	0	1 mês (?)	Elevada
<i>Yersinia enterocolitica</i>	10 ⁵	0	3 meses	Elevada (?)
Protozoários				
<i>Giardia lamblia</i>	10 ⁵	0	25 dias	Baixa
<i>Entamoeba histolytica</i>	10 ⁵	0	25 dias	Baixa
<i>Balantidium coli</i>	?	0	?	Baixa (?)
<i>Cryptosporidium</i>				Baixa
Helmintas				
<i>Enterobius vermicularis</i>	Geralmente não encontrado nas fezes	0	7 dias	Baixa
<i>Hymenolepis nana</i>	?	0	1 mês	Baixa

Continua ...

Microrganismos patogênicos	Carga excretada ^a	Latência ^b	Persistência ^c	Dose infecciosa mediana (ID50)
<i>Ascaris lumbricoides</i>	10 ⁴	10 dias	1 ano	Baixa
<i>Trichuris trichura</i>	10 ³	20 dias	9 meses	Baixa
<i>Taenia saginata</i> e <i>Taenia solium</i>	10 ⁴	2 meses	9 meses	Baixa

Baixa (<10²); Mediana (~10⁴); Elevada (>10⁶)

? Incerto

^a Valor médio de microrganismos por grama de fezes, exceto os que ocorrem na urina.

^b Tempo mínimo médio entre a excreção e a infecção.

^c Vida máxima estimada do estágio infeccioso a 20 C – 30 C.

*Inclui polio-, echo e coxaquievírus

Considerando que o presente trabalho está voltado para o estudo dos riscos associados à utilização de águas residuais na rega, segue um resumo de riscos microbiológicos para a saúde no quadro 3.23. A correlação entre os quadros 3.22 e 3.23 nos permite concluir que as bactérias são os microrganismos que possuem maior carga excretada por gramas de fezes, o que implica em uma dose infecciosa elevada, de um modo geral. Dentre os grupos expostos, não só as infecções bacterianas como também as virais têm relação direta com a concentração de coliformes nas águas residuais. Dessa forma, o risco de diarreia aumenta se a concentração de coliformes fecais for a partir de 10⁴ / 100 ml. O aumento do risco de infecções também ocorre caso haja exposição humana a rega por aspersão com o uso de água de má qualidade (10⁶-10⁸ coliformes totais/100 ml).

Quadro 3.23: Resumo de riscos microbiológicos para a saúde associados ao uso de águas residuais para rega (Stenström et al. 2011 citado por WHO, 2015)

Grupo Exposto	Infecções virais/ bacterianas	Infecções com protozoários	Infecções com helmintas
Trabalhadores agrícolas e as suas famílias.	<p>Aumento do risco de diarreias em crianças que contactam com águas residuais com mais 10⁴ coliformes fecais / 100 ml.</p> <p>Risco elevado de infecção por <i>Salmonella</i> em crianças expostas a águas residuais não tratadas.</p> <p>Elevada resposta serológica a norovírus em adultos expostos a águas residuais parcialmente tratadas.</p>	<p>Risco significativo de infecção por <i>Giardia intestinalis</i> tanto devido ao contato com águas residuais tratadas e não tratadas.</p> <p>Um estudo realizado no Paquistão estimou que o risco de infecção por <i>Giardia</i> é três vezes superior para os agricultores que utilizam água residual não tratada ao invés de água doce.</p> <p>Foi também observado o aumento do risco de amebíase por contato com águas residuais não tratadas.</p>	<p>Risco significativo de infecção por helmintas em adultos e crianças por contacto com águas residuais não tratadas.</p> <p>Aumento do risco de infecções por ancilóstomos para os trabalhadores sem sapatos.</p> <p>Mesmo quando as águas residuais são tratadas para <1 ovo de helminta/L, o risco permanece para as crianças, mas não para os adultos.</p>

Continua ...

Grupo Exposto	Infecções virais/ bacterianas	Infecções com protozoários	Infecções com helmintas
Populações a viver perto ou em locais regados com águas residuais.	<p>Água de má qualidade (10^6-10^8 coliformes totais/100 ml) utilizada para rega por aspersão e elevada exposição aos aerossóis estão associados com o aumento de infeções.</p> <p>O uso de água parcialmente tratada (10^4-10^5 coliformes fecais / 100 ml ou menos) para rega por aspersão não está associado com o aumento de infeções virais.</p>	Não existem dados sobre a transmissão de infeções por protozoários durante a rega por aspersão com água residual.	Não está estudada a transmissão de infeção por helmintas para rega por aspersão, mas para rega por alagamento ou escoamento (sulcos), onde existe bastante contacto, o risco existente é o mesmo do referido no exemplo acima.
Consumidores de produtos agrícolas regados com águas residuais.	<p>Surtos de cólera, febre tifóide e shigelose associados ao uso de águas residuais não tratadas, e respostas seropositivas para <i>Helicobacter pylori</i> (não tratada).</p> <p>Aumento da diarreia quando a qualidade da água excede 10^4 coliformes fecais /100 ml.</p>	Evidência de protozoários parasitas encontrados nas superfícies de vegetais regados com águas residuais, mas não existe evidência direta de transmissão de doenças.	Risco significativo de infeção por helmintas para adultos e crianças com o uso de águas residuais não tratadas para rega.

O quadro que segue, destaca que as exigências de qualidade da água a ser reutilizada aumenta a medida que o contato humano possa ocorrer, ou seja, o nível de exposição humana é proporcional aos níveis de qualidade exigidos, assim como o controle desta exposição é desproporcional aos níveis de qualidade exigidos.

Quadro 3.24: Parâmetros de exposição do contato humano com águas residuais tratadas (Adaptado de Parra et al., 1995 citado por Alves, 2008, Metcalf & Eddy, 2007 citado por Monte & Albuquerque, 2010 e ANA, 2015b)

Categoria geral	Tipo de uso	Aplicação	Vias de exposição	Condicionantes	Qualidade exigida
Reutilização para rega agrícola	<p>Rega com restrições*</p> <p>Rega sem restrições*</p>	<p>- Viveiros de árvores e plantas;</p> <p>- Culturas alimentares, forragens, cereais, fibras;</p> <p>- Proteção contra as geadas;</p> <p>- Silvicultura.</p>	<p>- Consumo de plantas regadas com água reutilizada;</p> <p>- Consumo de carne e outros produtos de animais alimentados com plantas regadas com água reutilizada;</p> <p>- Contato com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação de água reutilizada;</p> <p>- Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão.</p>	<p>- Necessidade de zona tampão;</p> <p>- Comercialização das culturas;</p> <p>- Saúde pública;</p> <p>- Controle dos aerossóis e drenagem.</p>	<p>Baixa a elevada</p> <p>Muito elevada</p>

Continua ...

Categoria geral	Tipo de uso	Aplicação	Vias de exposição	Condicionantes	Qualidade exigida
Reutilização para rega paisagística	Rega sem restrições*	<ul style="list-style-type: none"> - Campos de golfe; - Faixas separadoras e margens de auto-estradas; - Parques públicos; - <i>Campus</i> escolares; - Cemitérios; - Jardins residenciais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contato com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada; - Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão. 	<ul style="list-style-type: none"> - Controle da desinfecção; - Saúde pública; - Aceitação pública; - Controle dos aerossóis; - Drenagem; - Ligações cruzadas com rede de água potável. 	Baixa a elevada
Reutilização industrial	Usos secundários Caldeiras Água de processo Água de processo em Ind. agro-alimentares	<ul style="list-style-type: none"> - Água de arrefecimento; - Lavagem de equipamento; - Combate contra incêndio; - Construção pesada; - Água de processo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eventual exposição a salpicos de água em operações de lavagem de equipamento, de pavimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aerossóis; - Ligações cruzadas com rede de água potável; - Incrustações, corrosão, filmes biológicos. 	Baixa Elevada Elevada Muito elevada
Recarga de aquíferos	Via indireta (solo) Via direta (furo)	<ul style="list-style-type: none"> - Reforço dos aquíferos; - Barreira contra a intrusão; - Salina; - Armazenamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Abastecimento de água para consumo humano, para rega e para a indústria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidade de locais; - Contaminação das águas subterrâneas; - Aumento do teor de SDT; - Efeitos toxicológicos devidos a compostos orgânicos. 	Baixa a elevada Muito elevada
Usos recreativos e ambientais	Sem contato humano Com contato humano	<ul style="list-style-type: none"> - Lagos e lagoas artificiais; - Reforço do caudal de cursos de água; - Reforço de zonas húmidas; - Neve artificial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contato com água, plantas e animais aquáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eutrofização; - Ligações cruzadas com rede de água potável; - Toxicidade para a vida aquática. 	Baixa Muito elevada

Continua ...

Categoria geral	Tipo de uso	Aplicação	Vias de exposição	Condicionantes	Qualidade exigida
Reutilização para usos urbanos não potáveis	Com restrições Sem restrições	<ul style="list-style-type: none"> - Descarga de autoclismos; - Fontes e jogos de água ornamentais; - Lavagem de veículos; - Lavagem de ruas; - Lavagem de contentores de RSU; - Combate a incêndios; - Varrimento de coletores; - Fusão de neve; - Condicionamento de ar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ligações cruzadas com a rede de abastecimento de água potável; - Exposição a aerossóis formados na lavagem de veículos e no combate a incêndios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ligações cruzadas com rede de água potável; - Incrustações, corrosão, filmes biológicos; - Aceitação pública; - Saúde pública. 	Baixa Muito elevada
*: Com restrições , quando a exposição do público à água reutilizada é controlada; Sem restrições , quando a exposição ao público é provável durante a reutilização.					

O percurso do risco aos seres humanos associado à presença de organismos patogênicos na água de reúso tratada está resumido de acordo com a figura abaixo:

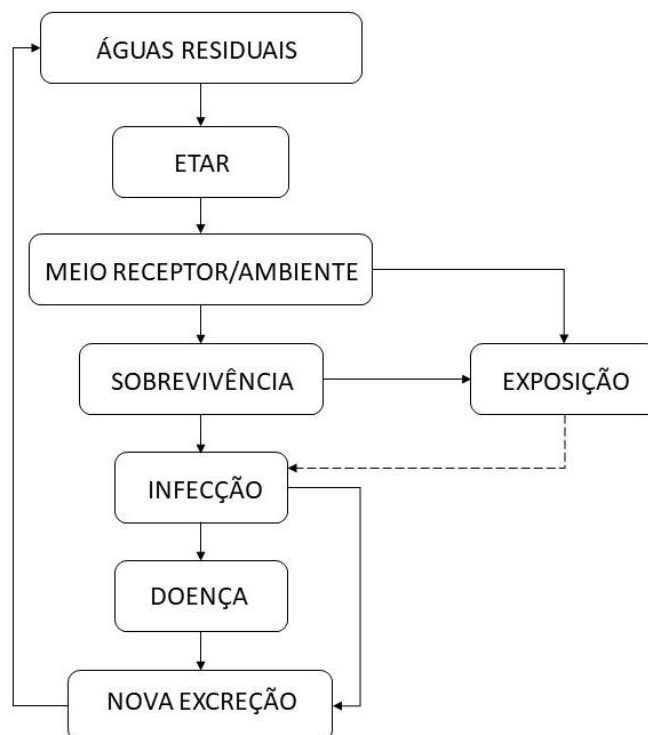


Figura 3.13: Vias de exposição a microrganismos patogênicos em sistemas de reutilização de águas residuais tratadas (Monte & Albuquerque, 2010)

Algumas medidas de proteção à saúde podem ser consideradas para ser possível atingir a redução na concentração de patógenos, conforme o quadro 3.25. Essas medidas vão desde o tratamento de águas residuais ao tipo de irrigação praticada, como também os cuidados tomados em relação às culturas a serem consumidas.

Quadro 3.25: Reduções de patógenos atingidas por várias medidas de proteção à saúde (Stenström et al., 2011)

Medida de controle	Redução do patógeno (unidades logarítmicas)	Notas
Tratamento de água residual	1 - 6	A redução necessária de patógenos a ser alcançada pelas águas residuais depende da combinação de medidas selecionadas de proteção à saúde.
Irrigação por gotejamento localizada (culturas de baixo crescimento)	2	Culturas de raízes e culturas como a alface que cresce logo acima, mas parcialmente em contato com o solo.
Irrigação por gotejamento localizada (culturas de alto crescimento)	4	Culturas, como tomates, cujas partes colhidas não estão em contato com o solo.
Controle de fenda de pulverização (irrigação por pulverização)	1	Uso de microaspersores, aspersor com interruptor de direção controlada, aspersor de arremesso interno
Zona de amortecimento de pulverização (irrigação por pulverização)	1	Proteção de moradores perto de irrigação por pulverização ou por aspersão. A zona buffer deve ser 50-100 m
Patógeno morto	0.5 - 2 por dia	Patógeno morto em superfícies de culturas que ocorrem entre a última irrigação e o consumo. A redução da unidade logarítmica alcançada depende do clima (temperatura, intensidade da luz solar, umidade), tempo, tipo de cultura, etc.
Produção lavada com água	1	Lavar a salada, legumes e frutas com água limpa.
Produção desinfetada	2	Lavar a salada, legumes e frutas com solução desinfetante fraca e enxaguar com água limpa.
Produção descamada	2	Frutas, tubérculos.
Produção cozida	6 - 7	Imersão em ebulição ou perto de água fervente até que a comida esteja cozida garante a redução de patógenos.

Em relação aos compostos químicos em águas residuais, vale considerar as variáveis de efeitos específicos, pois os resultados se dão de acordo com o tipo de composto, a concentração e a via e duração de exposição. Isso ocorre devido a grande variação das características das águas residuais, a qual depende de vários fatores, tais como: do tipo da rede de drenagem (unitária e/ou separativa),

das características socio-económicas da população e dos diferentes contributos recebidos dos estabelecimentos comerciais e industriais (Metcalf & Eddy, 1991, citado por Monte & Albuquerque, 2010).

Diante da variabilidade nas características das águas residuais urbanas, a falta de conhecimento sobre a identidade de muitos compostos quantificados de forma agregada, bem como seus efeitos no ato da reutilização destas águas, desperta o alerta de que só pode assegurar o grau de segurança hídrica conforme o tipo de processo adotado no tratamento das águas residuais. Dentre os grupos de poluentes químicos mais relevantes para a reutilização de águas residuais urbanas, Monte & Albuquerque (2010) destacam os sais, metais pesados, sólidos em suspensão, pesticidas e produtos farmacêuticos.

No que se refere a concentração, os parâmetros químicos se tornam tóxicos para as culturas e produções agrícolas em níveis mais baixos que as concentrações capazes de causar impacto à saúde humana. Nesse sentido, tais parâmetros são utilizados como referencial de adequação para a saúde humana (ver quadro 3.26), uma vez que a exposição humana é avaliada através da transferência pela cadeia alimentar, das águas residuais ao solo, da assimilação pelas culturas e do consumo pelas pessoas (WHO, 2015).

Os limites máximos toleráveis para a concentração de contaminantes no solo são indicados pela Organização Mundial de Saúde, com base na Avaliação Quantitativa de Risco Químico (AQRQ), a qual tem sido adotada em muitos países como recomendações de proteção à saúde humana, haja vista a não eliminação desses produtos químicos com o cozimento dos vegetais, o que indica potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Quadro 3.26: Concentração máxima tolerada no solo de vários elementos químicos e compostos orgânicos baseada na proteção à saúde humana (WHO, 2006b)

Elemento químico	Concentração no solo (mg/kg)
Antimônio	36
Arsênico	8
Bário	302
Berílio	0,2
Boro	1,7
Cádmio	4
Flúor	635
Chumbo	84
Mercúrio	7
Molibdênio	0,6
Níquel	107
Selênio	6
Prata	3

Tálio	0,3
Vanádio	47
Compostos orgânicos	
Aldrina	0,48
Benzeno	0,14
Clordano	3
Clorobenzeno	211
Clorofórmio	0,47
2,4-D	0,25
DDT	1,54
Diclorobenzeno	15
Dieldrina	0,17
Dioxinas	0,00012
Heptacloro	0,18
Hexaclorobenzeno	1,40
Lindane	12
Metoxicloro	4,27
PAHs (Benzopirenos)	16
PCBs	0,89
Pentaclorofenol	14
Ftalato	13,733
Pireno	41
Estireno	0,68
2,4,5-T	3,82
Tetracloroetano	1,25
Tetracloroestireno	0,54
Tolueno	12
Toxafeno	0,0013
Tricloroetano	0,68

3.8.2 Efeitos ambientais

Na perspectiva dos efeitos positivos associados à utilização de águas residuais urbanas como fonte alternativa de água, Asano (2002) e Lima & Kollnberger (2004) citado por Gohringer (2006) destacam:

- A redução da poluição com a minimização da descarga em corpos de água;
- A disponibilidade de efluentes tratados com elevado grau de equidade;

- A promoção, em longo prazo, de uma fonte confiável de abastecimento de água;
- A alternativa de minimização de captação e extração das águas do subsolo ou de mananciais.

Pescod (1992) e Bernardi (2003), citados por Cerqueira et al. (2008), complementam que os efeitos positivos defendendo a idéia de que além de mitigar a escassez hídrica, a reutilização de águas residuais, na agricultura por exemplo, pode diminuir o impacto ambiental através da substituição parcial de fertilizantes químicos, com a redução da contaminação dos recursos hídricos. Dessa forma, o benefício para as plantas e culturas em geral seriam provenientes também pelos materiais dissolvidos nos efluentes tais como a matéria orgânica, o nitrogênio, o fósforo, o potássio e os micronutrientes.

Os efeitos ambientais negativos associados à utilização de águas residuais urbanas têm muitas vezes um caráter à longo prazo e, portanto, uma avaliação morosa. No caso da rega agrícola por exemplo, Monte & Albuquerque (2010) relatam que a qualidade da água utilizada em rega possui diversos problemas, os quais podem estar relacionados aos fatores naturais (tais como solo, clima e tipo de cultura), bem como pelas técnicas adotadas pelo agricultor. Nesse panorama, WHO (2006a), complementa que os efeitos ambientais associados ao uso de águas residuais dependem tanto da situação como da forma de utilização do efluente.

O quadro 3.27 que segue, estabelece valores máximos recomendáveis e admissíveis relativamente às substâncias químicas presentes em águas destinadas à rega. Diante da importância em ressaltar que a via de exposição aos poluentes químicos é essencial para a determinação do nível de risco, no caso da rega é possível afirmar que a aplicação de regulamentos apropriados que garantam uma boa gestão de águas residuais industriais, por exemplo, possibilita a utilização de efluentes secundários e terciários na rega, sem restrições motivadas por questões de saúde influenciadas pela composição química destas águas residuais (Chang et al., 2001).

Quadro 3.27: Qualidades das águas destinadas à rega (Diário da República, Decreto-Lei nº 236/98 e WHO, 2006b)

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Alumínio (Al)	mg/l	5,0	20	Risco de improdutividade em solos com pH<5,5. Em solos com pH>7 o risco de toxicidade é eliminado por precipitar o alumínio.
Arsénio (As)	mg/l	0,10	10	Toxicidade variável consoante as culturas, oscilando entre 12 mg/l para a erva- -do-sudão e 0,05 mg/l para o arroz.
Bário (Ba)	mg/l	1,0		
Berílio (Be)	mg/l	0,5	1,0	
Boro (B)	mg/l	0,3	3,75	Para solos de textura fina e em curtos períodos recomenda-se como concentração máxima 2 mg/l.
Cádmio (Cd)	mg/l	0,01	0,05	Tóxico para o feijoeiro, beterraba e nabo em concentrações da ordem dos 0,1 mg/l em soluções nutritivas. Recomenda-se limites mais restritivos, dado este ião se acumular nas plantas e no solo, podendo prejudicar o ser humano.

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Chumbo (Pb)	mg/l	5,0	20	As concentrações muito elevadas podem inibir o desenvolvimento celular das culturas.
Cloretos (Cl)	mg/l	70	-	Para a cultura do tabaco recomenda-se uma concentração inferior a 20 mg/l, não devendo exceder os 70 mg/l.

Continua ...

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Cobalto (Co)	mg/l	0,05	10	Tóxico em soluções nutritivas para a cultura do tomate na ordem dos 0,1 mg/l. Tende a ser inativo em solos neutros ou alcalinos.
Cobre (Cu)	mg/l	0,20	5,0	Tóxico em soluções nutritivas com concentrações entre 0,1 mg/l e 1 mg/l para diversas culturas.
Crómio total (Cr)	mg/l	0,10	20	Por se desconhecer o seu efeito tóxico, recomendam-se limites mais restritivos
Estanho (Sn)	mg/l	2,0		
Ferro (Fe)	mg/l	5,0		Não tóxico em solos bem arejados, mas pode contribuir para a acidificação do solo, tornando indisponível o fósforo e o molibdénio.
Flúor (F)	mg/l	1,0	15	Inativado em solos neutros e alcalinos.
Lítio (Li)	mg/l	2,5	5,8	Tolerado pela maioria das culturas em concentrações superiores a 5 mg/l; móvel no solo. Tóxico para os citrinos a baixas concentrações (<0,075 mg/l).
Manganés (Mn).	mg/l	0,20	10	Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/l, mas normalmente só em solos ácidos.
Molibdénio (Mo)	mg/l	0,005	0,05	Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem, no entanto, ocasionar toxicidade nos animais.
Níquel (Ni)	mg/l	0,5	2,0	Tóxico para um certo número de culturas entre 0,5 mg/l e 1 mg/l; reduzida toxicidade para pH neutro ou alcalino.
Nitratos (NO ₃)	mg/l	50		Concentrações elevadas podem afetar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
Salinidade: CE SDT	dS/m mg/l	1 640		Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo.
SAR (°)		8		Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada.
Selénio (Se)	mg/l	0,02	0,05	Tóxico para culturas em concentrações da ordem dos 0,025 mg/l. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais.
Sólidos suspensos totais (SST).	mg/l	60		Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão,

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
				bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos.
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	575		
Vanádio (V)	mg/l	0,10	1,0	Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas.
Zinco (Zn)	mg/l	2,0	10,0	Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a pH > 6 e solos de textura fina ou de solos orgânicos.
pH	Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0	

Continua ...

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Coliformes fecais	/100 ml	100		
Ovos de parasitas intestinais	N/l		1	

(¹) A relação de adsorção de sódio (SAR) é traduzida pela seguinte equação, onde as concentrações devem estar expressas em meq/l: $SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$

VMR – Valor máximo recomendado

VMA – Valor máximo admissível

É de suma importância, portanto, o conhecimento das características das águas residuais tratadas destinadas à rega, diante dos possíveis impactos adversos no biossistema solo-planta e consequentemente nos consumidores de produtos agrícolas, para que seja possível o estudo de medidas de mitigação ou até eliminação dos riscos associados à essa prática (ver quadro 3.28).

Quadro 3.28: Características das águas residuais que mais afetam o biossistema solo-planta (Monte & Albuquerque, 2010)

Característica	Parâmetros de avaliação	Efeito
Salinidade/Sais inorgânicos dissolvidos.	SDT. Condutividade eléctrica. Iões específicos (Na, Ca, Mg, Cl, B).	A elevada salinidade prejudica o bom desenvolvimento de muitas plantas; alguns iões podem ser tóxicos para as plantas (Na, B, Cl); o Na pode induzir problemas de permeabilidade no solo.
Sólidos em suspensão.	SST (SSF+SSV).	Concentrações elevadas de SST podem provocar entupimentos nos equipamentos de rega.
Matéria orgânica biodegradável.	CBO, CQO.	Em efluentes tratados o teor de matéria orgânica em geral não causa problemas.
Compostos orgânicos refractários.	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos halogenados).	Resistem aos processos convencionais de tratamento. Alguns são tóxicos \Rightarrow a sua presença pode ser limitativa da utilização do efluente para rega.
Nutrientes.	N (N-org + N-NH ₄ + N-NO ₂ + N-NO ₃) P, K.	São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas \Rightarrow a sua

Característica	Parâmetros de avaliação	Efeito
		presença normalmente valoriza a água de rega. Quando aplicados no solo em quantidades excessivas podem induzir a poluição das águas subterrâneas.
Actividade hidrogeniónica.	pH.	O pH das águas residuais afecta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.
Metais pesados.	Elementos específicos (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn).	Alguns acumulam-se no solo ou nas plantas e são tóxicos para as plantas e animais \Rightarrow podem constituir factor limitante à utilização de águas residuais.

Continua ...

Característica	Parâmetros de avaliação	Efeito
Cloro residual.	Cl livre, Cl combinado.	Teores excessivos de cloro livre podem causar queimaduras nas folhas. O cloro combinado não causa problemas.
Microorganismos patogênicos.	Coliformes fecais. Helmintas. Organismos indicadores.	Transmissão de doenças.

As medidas de mitigação dos impactos adversos relacionados ao uso de águas residuais tratadas, ainda com resquícios de contaminação, podem ser asseguradas por boas práticas de irrigação. Apesar de essas práticas serem variáveis, de acordo com as condições locais e tolerâncias das culturas cultivadas, elas têm como referência: quantidade e qualidade da água, características do solo, seleção de culturas, técnicas de irrigação, lixiviação e práticas de gerenciamento (WHO, 2006b).

4. Metodologia

A metodologia utilizada para a concepção deste trabalho foi baseada em pesquisa bibliográfica e estudo de caso a fim de concretizar a investigação de forma prática. Nesse contexto, Tozoni-Reis (2009) entende que a pesquisa bibliográfica tem como característica principal a idéia de que os dados coletados estão presentes na própria *bibliografia* sobre o tema ou o objeto de estudo que se pretende investigar. Já o estudo de caso, conforme Yin citado por Ventura (2007), compreende uma investigação empírica e compõe um método abrangente, através de planejamento, coleta e análise de dados. Os estudos podem ser isolados ou múltiplos e as abordagens de pesquisa podem ser tanto quantitativas como qualitativas.

A Avaliação de Riscos do tópico 3.8, assim como os conceitos gerais encontrados na literatura sobre o âmbito desta temática, servirão como base a fim de compor uma proposta metodológica de Avaliação

de Riscos voltada para a rega, visando sua aplicação para o estudo de caso definido como um Parque Público, situado na cidade de Fortaleza – CE, Brasil.

A proposta metodológica deste trabalho condiz com o escopo do Sanitation Safety Planning (PSS), elaborado pela WHO - World Health Organization (2015), onde a avaliação e gestão de riscos são levados em consideração, a fim de identificar possíveis problemas que podem ocorrer e proporcionar a chance de lidar com as causas antes do acontecimento dos incidentes, ou seja, o PSS permite prevenção, mitigação dos riscos e minimização dos impactos. É importante complementar, nessa ocasião, que segundo a APA (2015), nos últimos anos tem havido um progresso considerável com a implementação dos Planos de Segurança da Água recomendados pela Organização Mundial da Saúde. Tudo indica que esta metodologia de gestão e prevenção de riscos venha a ser obrigatória nas próximas iniciativas legislativas relacionadas com a qualidade da água.

4.1 Tipologias de Avaliação de Riscos

A avaliação de riscos pode apresentar diferentes propostas com diferentes graus de complexidade e base de dados, tais como: a) Avaliação qualitativa do risco com base na experiência da equipe de Planejamento de Segurança Sanitária - PSS; b) Avaliação semi-quantitativa do risco, utilizando uma matriz de risco com probabilidade e severidade para os eventos perigosos; c) Métodos quantitativos com diferentes vias de exposição para avaliar o risco de perigos microbiológicos (ex.: avaliação quantitativa de risco microbiológico – QMRA) (WHO, 2015).

4.1.1 Avaliação qualitativa do risco

A avaliação qualitativa do risco é uma forma de abordagem simplificada que resume os riscos em quatro categorias, as quais compreendem uma escala entre falta de informação suficiente para mensurar o risco até a identificação de evento perigoso grave, conforme o quadro 4.1. Esta avaliação é realizada através da inspeção sanitária da água, com monitoramento microbiano (WHO, 2016).

Quadro 4.1: Classificação do risco, em níveis, e sua descrição (WHO, 2015)

CLASSIFICAÇÃO DO RISCO	DESCRIÇÃO
Prioridade elevada	É possível que o evento resulte em lesões, doença aguda ou crônica, ou morte. Devem ser tomadas medidas para minimizar o risco.

CLASSIFICAÇÃO DO RISCO	DESCRIÇÃO
Prioridade moderada	É possível que o evento resulte em efeitos moderados na saúde (e.g., febre, dor de cabeça, diarreia, pequenas lesões) ou desconfortos (e.g., ruído, mau cheiro). Depois dos riscos de prioridade elevada estarem controlados, devem ser tomadas medidas para minimizar estes riscos.
Prioridade baixa	Não são expectáveis efeitos na saúde. Não é necessária qualquer ação nesse momento. O risco deve ser revisto no futuro, como parte do processo de revisão do PSS.
Prioridade desconhecida	É necessária informação adicional para classificar o risco. Devem ser tomadas algumas medidas para reduzir o risco enquanto se reúne mais informação.

4.1.2 Avaliação semi-quantitativa do risco

A avaliação semi-quantitativa do risco é uma metodologia mais complexa, onde os perigos ou eventos perigosos são classificados segundo sua severidade e probabilidade de acontecimento, através de características preestabelecidas para mensurar os níveis de classificação. A realização deste tipo de avaliação requer uma equipe interdisciplinar, tendo em vista sua abordagem mais abrangente (WHO, 2016).

Quadro 4.2: Níveis de probabilidade e severidade para o risco (WHO, 2015)

CLASSIFICAÇÃO		DESCRIÇÃO
Probabilidade (P)		
1	Muito improvável	Não aconteceu no passado e é muito improvável que aconteça nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
2	Improvável	Não aconteceu no passado, mas pode ocorrer em condições excepcionais nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
3	Possível	Pode ter acontecido no passado ou pode ocorrer em condições normais nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
4	Provável	Tem sido observado no passado e é provável que ocorra nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
5	Quase certo	Tem sido frequentemente observado no passado e é quase certo que ocorra na maioria das situações nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
Severidade (S)		
1	Insignificante	Perigo ou evento perigoso que não tem efeito ou é negligenciável na saúde , quando comparado com o que é habitual.
2	Menor	Perigo ou evento perigoso que potencialmente tem um efeito reduzido na saúde (e.g., sintomas temporários tais como irritação, náusea, dor de cabeça).
4	Moderado	Perigo ou evento perigoso que potencialmente poderá ter um efeito na saúde limitado no tempo ou causar uma doença ligeira (e.g., diarreia aguda, vômitos, infecção do trato respiratório superior, pequeno traumatismo).

CLASSIFICAÇÃO		DESCRIÇÃO
8	Maior	Perigo ou evento perigoso que potencialmente poderá resultar em doença ou lesão (e.g., malária, esquistossomose, trematodose de origem alimentar, diarreia crônica, problemas respiratórios crônicos, doenças neurológicas, fratura óssea); Ou pode levar a reclamações e originar alguma preocupação; Ou não conformidade maiores no cumprimento da regulamentação.
16	Catastrófico	Perigo ou evento perigoso que potencialmente poderá resultar em doença ou lesão grave, ou mesmo a morte (e.g., envenenamento grave, perda de extremidades, queimaduras graves, afogamentos); ou pode originar uma investigação do regulador com um provável processo jurídico.

4.1.2.1 Matriz da avaliação semi-quantitativa do risco

O quadro 4.3 permite o cálculo do risco através de valores preestabelecidos referentes aos níveis de probabilidade de ocorrência e severidade do risco. Essa metodologia proporciona praticidade ao processo de avaliação se considerarmos a possibilidade de resultar em um produto extenso.

Quadro 4.3: Cruzamento dos valores de probabilidade e severidade para obter níveis de risco (WHO, 2015)

			SEVERIDADE (S)				
			Insignificante	Menor	Moderado	Maior	Catastrófico
			1	2	4	8	16
Probabilidade (P)	Muito Improvável	1	1	2	4	8	16
	Improvável	2	2	4	8	16	32
	Possível	3	3	6	12	24	48
	Provável	4	4	8	16	32	64
	Quase certo	5	5	10	20	40	80
Pontuação Risco R = (P) x (S)			< 6	7 - 12		13 - 32	> 32
Nível de Risco			Baixo	Médio		Elevado	Muito Elevado

4.1.3 Avaliação quantitativa de risco microbiológico (*Quantitative microbial risk assessment – QMRA*)

Os quatro passos da estrutura harmonizada da QMRA são: formulação de problemas (identificação do perigo), avaliação da exposição, avaliação de efeitos na saúde (dose-resposta) e caracterização do risco (WHO, 2016).

4.2 Comparação das abordagens que guiam a Avaliação de Riscos para apoiar a gestão da segurança hídrica

A comparação entre as abordagens encontradas para uma avaliação de riscos, conforme o quadro abaixo, permite a ponderação entre as forças e limitações das respectivas metodologias a fim de ser selecionada a que mais se adequa com o estudo em questão.

Quadro 4.4: Abordagens de avaliação de riscos (WHO, 2016)

Abordagem	Forças	Limitações	Recursos	Análise
Inspeção sanitária (com vigilância da qualidade da água, através de monitoramento microbiano)	Simples, exigindo o mínimo de tempo e recursos; Permite fácil identificação de problemas contínuos e necessidades de melhorias; Pode facilmente complementar a inspeção sanitária com dados de qualidade da água.	Considera somente riscos visíveis; Cada inspeção sanitária é para um único ponto do tempo; A avaliação de riscos é simplificada, limitando-se a fatores de riscos fundamentais.	Visita ao local; Formulário de inspeção sanitária relevante/ checklist (Ensaio de qualidade da água: campo ou laboratório)	Inspetor qualificado/ treinado (Avaliação da qualidade da água)

Continua ...

Abordagem	Forças	Limitações	Recursos	Análise
Matrizes de risco (avaliação semi-quantitativa)	Abordagem que permite uma consideração mais abrangente de perigos/ eventos perigosos do que inspeções sanitárias; Estrutura de priorização simples que permite comparação entre diferentes cenários, o que apóia a identificação e gerenciamento dos riscos mais importantes.	Precisão limitada para comparar perigos ou eventos perigosos; Às vezes as pontuações de riscos podem não ser tão claras; Quando não há desenvolvimento e aplicação de definições claras e robustas para as categorias de probabilidade e gravidade, pode haver pontuação de risco inconsistente e desequilíbrio entre efeitos agudos e crônicos à saúde.	Todos os itens supracitados, além de: Informações para avaliar a frequência de vários eventos perigosos e a gravidade dos perigos (por exemplo, bancos de dados de eventos perigosos, registros históricos)	Equipe interdisciplinar de Plano de Segurança da Água com ampla qualificação cobrindo a cadeia de suprimentos da fonte até a exposição (ex. engenheiros, especialistas em qualidade da água, especialistas em captação)

Abordagem	Forças	Limitações	Recursos	Análise
QMRA	Resultados quantitativos para problemas quantitativos; Entrada direta a partir da interferência estatística de dados observacionais.	Abordagem mais complexa, que exige mais conhecimento e dados; Os dados são limitados para quantificar insumos de modelos; A incerteza é muitas vezes difícil de quantificar e incorporar em resultado de risco; A validade dos pressupostos padrão pode ser difícil ou impossível de estabelecer para o local do estudo.	Todos os itens supracitados, além de: Dados quantitativos ou suposições sobre a ocorrência de patógenos, exposição e impactos na saúde: Para QMRAa mais aprofundadas, podem ser necessárias ferramentas computacionais	Assessores de risco que dependem da análise da equipe do Plano de Segurança da Água e de todos os dados disponíveis; Os avaliadores de risco precisam ter conhecimento sobre a interpretação de conjuntos de dados microbianos e, para a QMRA em profundidade, abordagens de modelagem, estatísticas, etc.

Diante do exposto no quadro 4.4, a metodologia mais adequada ao presente estudo é a Avaliação Semi-quantitativa de Riscos, em virtude da possibilidade de interação entre vários profissionais, praticidade no processo de avaliação dos diferentes cenários e possibilidade de obtenção de informações e dados de forma prática, sem demandar conhecimentos tão específicos, como as demais abordagens citadas.

A matriz de risco, que trata-se do produto desta avaliação de riscos, também permite uma leitura fácil por parte dos *stakeholders* envolvidos no processo de trabalho referente à essa investigação.

5. Simulação de Avaliação de Riscos baseada no uso de ARUT no Parque Público Rachel de Queiroz

Nesta secção estão apresentados um contexto geral do esgotamento sanitário na cidade de Fortaleza-CE (Brasil), uma introdução sobre o Parque Rachel de Queiroz e uma simulação de avaliação de riscos pelo método semi-quantitativo no referido Parque.

5.1 Contexto geral do Esgotamento Sanitário na cidade de Fortaleza - CE

Antes de contextualizar as informações relacionadas ao referido Parque público, como estudo de caso hipotético, é importante descrever brevemente os sistemas de esgotamento sanitário existentes na cidade de Fortaleza para a compreensão da realidade local.

Conforme a PMF – SEUMA (2014), o sistema de esgotamento sanitário do Município de Fortaleza é composto por: redes coletoras, coletores-tronco, interceptores, estações elevatórias, linhas de recalque, estações de tratamento de esgoto (ETEs), estação de pré-condicionamento, estação de tratamento de odores e emissário submarino. Este sistema apresenta duas formas de funcionamento: isolada, a qual ocorre a concentração do processo de coleta, tratamento e disposição no mesmo local; e integrada, sendo considerada a mais comum neste Município e que direciona o esgoto até a Bacia da Vertente Marítima, onde passa pela estação de pré condicionamento e em seguida segue para o emissário submarino.

A Estação de Pré Condicionamento (EPC) tem por finalidade remover o material sólido e o material flutuante no esgoto para que seja lançado ao mar através do emissário submarino. As unidades operacionais da EPC são: grade grossa de limpeza manual, grade mecanizada, estação elevatória EE-1, peneiras rotativas, desarenadores, estação elevatória EE-2, chaminé de equilíbrio e emissário submarino. A Estação de Tratamento de Odores (ETO), instalada na EPC, tem a função de minimizar a exalação dos gases agressivos para a atmosfera. O tratamento dos gases é feito através do processo de adsorção por lavagem química, onde os mesmos recebem aspersões de ácido clorídrico concentrado para a sua oxidação. Os materiais insalubres (poluentes e areia) são transportados ao aterro sanitário. Porém, vale ressaltar que os resíduos sanitários resultantes desse processo apontam para a necessidade de um plano de gerenciamento de resíduos, elaborado pela Companhia de Água e Esgotos do Ceará - CAGECE, haja vista o desacordo com a Legislação (Legislação Federal: Resolução CONAMA 357/05 e 430/11; Legislação Estadual: SEMACE 154/02 e Decretos 13.103 e 26.604; Legislação Municipal: Decreto 8.8408) (PMF – SEUMA, 2014).

Ainda conforme o documento supracitado e com base nos trabalhos de monitoramento da área de influência do Sistema de Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários de Fortaleza – SDOES, a concentração dos poluentes apresenta níveis admissíveis diante da capacidade de autodepuração das águas marinhas que compreende: dispersão, diluição e decaimento bacteriano. Entretanto, diante do exposto sobre os níveis de tratamento dos efluentes comparado à legislação ambiental em vigor, é possível constatar tanto o descumprimento em rigor da legislação como falhas de cunho técnico e

operacional no sistema de esgotamento sanitário como um todo, sendo este inadequado e incompleto, o que inviabiliza uma futura reutilização das águas residuais de forma minimamente segura.

O problema é ainda mais grave se considerarmos que nessa perspectiva, as águas residuais oriundas do tratamento de esgoto se encontram fora dos padrões estabelecidos pela Secretaria do Meio Ambiente do Ceará- SEMACE, devido aos próprios sistemas operarem sem a devida licença ambiental, poluindo os recursos hídricos. Assim, segundo a PMF – SEUMA (2014), após a análise dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos destas águas, constatou-se que os resultados obtidos ultrapassaram os padrões de OD, DBO, coliformes totais e fecais previstos para a classe proposta, em virtude do lançamento de esgotos ao longo dos corpos d'água.

Somado à problemática comentada, um dos pormenores que merece destaque é o transbordamento, ocasionado pela falta de infraestrutura adequada da rede pública de drenagem de águas pluviais, cuja incidência é maior nos períodos chuvosos. Nesse ponto de vista, a PMF – SEUMA (2014) menciona que este problema acontece quando o sistema de drenagem urbana possui algum tipo de deficiência, ocasionando o lançamento das águas pluviais, as quais deveriam ser drenadas, em redes de esgoto, e consequentemente saturando a mesma e causando transbordamento. Destaca-se ainda que a rede de esgoto da RMF é projetada para receber somente esgoto sanitário (doméstico, comercial e industrial), sendo considerada do tipo separador absoluto. Já as águas pluviais devem ser coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial independente.

Diante do exposto, é importante salientar que o saneamento da cidade de Fortaleza é prejudicado não só pelo tratamento insatisfatório dos efluentes. A situação é ainda mais grave, pois segundo a PMF – SEUMA (2017a), apenas 46% das habitações possuem ligações às redes de esgoto, o que aponta para altos índices de poluição nos recursos hídricos como meios receptores desses efluentes. Entretanto, a Prefeitura Municipal de Fortaleza-PMF, juntamente com a Companhia de Água e Esgoto do Ceará- CAGECE têm o objetivo de promover o acesso ao esgoto e tratamento adequado dos efluentes até 2033, por meio de um Plano de Saneamento Municipal.

5.2 Parque Rachel de Queiroz

O Parque Rachel de Queiroz consiste em um parque linear que cruza 8 bairros da cidade de Fortaleza e conta com aproximadamente 10 km de extensão. A criação e regulamentação se deu no ano de 2014, mas a poligonal que determina a área do Parque com 137ha foi decretada somente em 2016. Vale ressaltar que a referida área contém 4 recursos hídricos relevantes, os quais interferem diretamente na dinâmica ambiental (PMF - SEUMA, 2017c).

Inserido na zona noroeste da cidade de Fortaleza, as adjacências do Parque concentram aproximadamente 1,5 milhão de habitantes, caracterizando-o como área de alta densidade urbana. Em virtude disso e das problemáticas associadas à essa característica, o Parque Rachel de Queiroz foi

considerado alvo de ações de urbanização, melhorias da qualidade urbana, saneamento ambiental, gestão dos recursos ambientais, além de ações sociais voltadas para a inclusão dos stakeholders beneficiados.

A prefeitura de Fortaleza (PMF), através da Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA) juntamente com o Programa Fortaleza Sustentável, determinou a Operação Urbana Consorciada Rachel de Queiroz, financiada pelo Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), a qual funciona como uma parceria público privada.

A finalidade da Operação Urbana Consorciada Rachel de Queiroz é a promoção de desenvolvimento urbano sustentável, com a valorização do ambiente e da qualidade de vida das pessoas que moram nas áreas contíguas à zona de abrangência da Operação. Nesse contexto, o equilíbrio entre espaço natural e construído pode ser garantido através da gestão apropriada dos recursos ambientais e do fortalecimento institucional, por meio de ações sociais voltadas para o benefício das pessoas influenciadas pelas medidas da Operação (PMF - SEUMA, 2017b).

Dentre os fundamentos que orientam a referida Operação Urbana Consorciada, os quais compreendem melhorias na mobilidade, acessibilidade e conectividade, inserção de infraestrutura adequada às necessidades locais, valorização da paisagem e do ambiente, dentre outros, merece destaque o uso racional de água e energia, regulamentado nas normas ambientais vigentes no Brasil (PMF – SEUMA, 2017b)

O projeto do Parque Rachel de Queiroz deve favorecer para um melhor manejo das enchentes, contribuindo para aumentar a resiliência da cidade de Fortaleza diante das mudanças climáticas, o que caracteriza-se como um dos princípios para o desenvolvimento sustentável (ver figura 5.1).

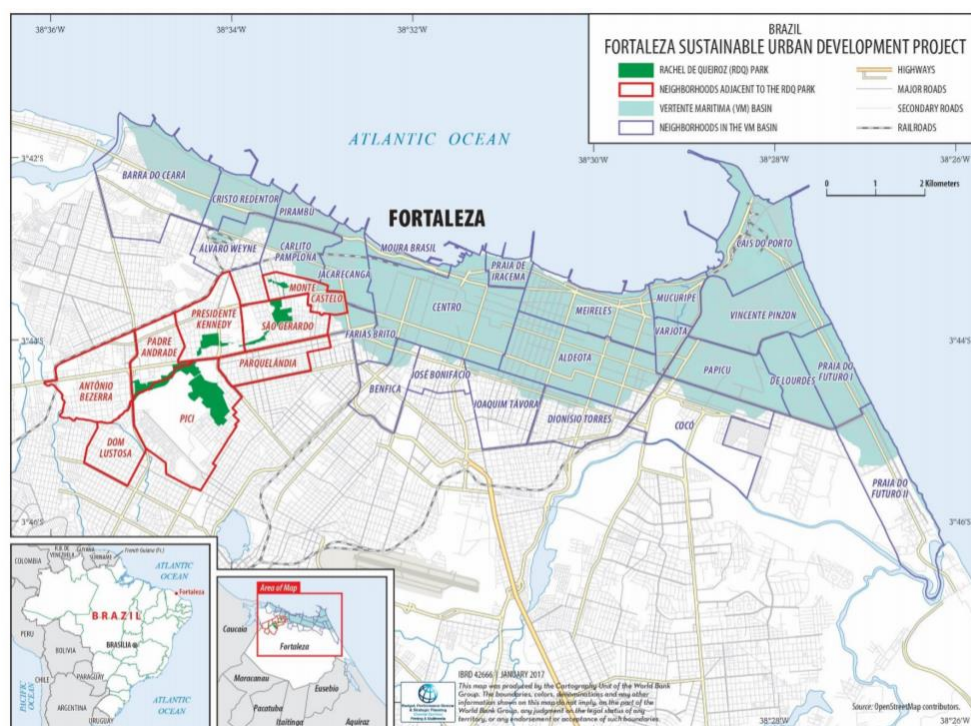


Figura 5.1: Mapa da área de intervenção do Parque Rachel de Queiroz (PMF – SEUMA, 2017a)

A figura seguinte destaca a área de abrangência do Parque Rachel de Queiroz, os bairros que sofrerão impactos diretos com o Projeto e os 19 trechos que configuram toda a área de intervenção.



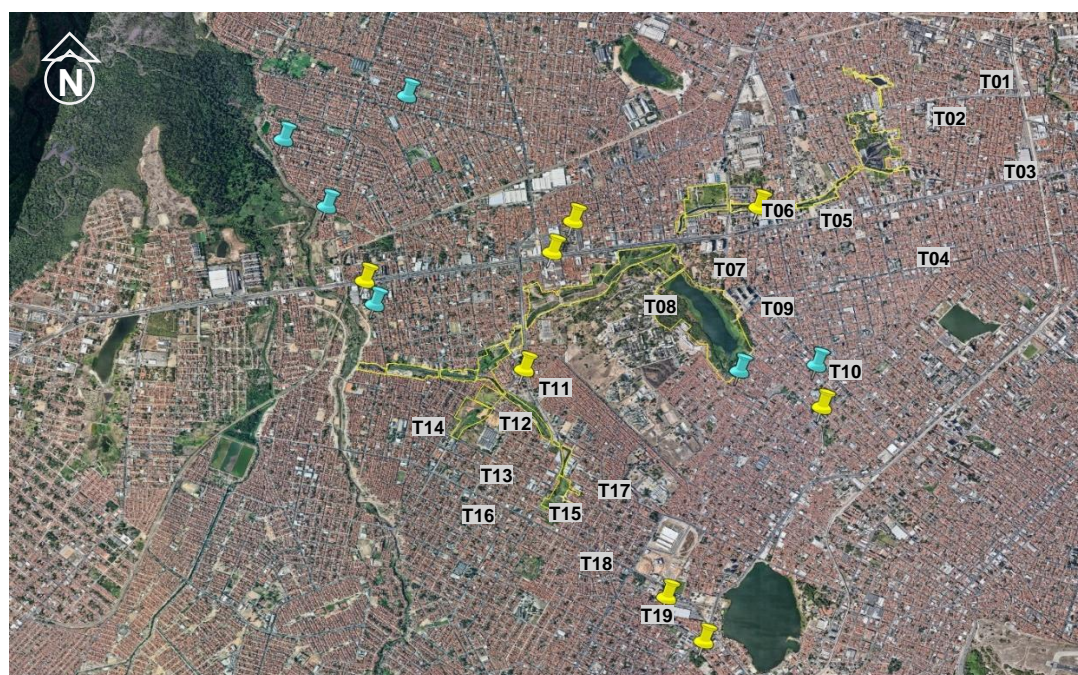
LEGENDA

- Área de abrangência do Parque Rachel de Queiroz
- Recursos hídricos
- Trecho

Figura 5.2: Parque Rachel de Queiroz (PMF – SEUMA, 2016)

5.2.1 Gestão dos recursos hídricos do Parque Rachel de Queiroz

Condizente o Diagnóstico Urbanístico e Ambiental realizado antes da concepção do projeto do Parque, foi constatado que os recursos hídricos presentes na área de abrangência (ver figura 5.3) apresentavam alto índice de poluição, o que consequentemente provocava sérios riscos à saúde da população, além de impactos negativos no ambiente. Nesse contexto, os indicadores de poluição se dão pela ineficiência do sistema de esgotamento sanitário do município, que além de incompleto no processo de tratamento de águas residuais, conta com 161 ETEs que servem apenas 62% do território (CAGECE, 2019). A forma isolada no sistema de esgotamento sanitário ainda é outro agravante, pois segundo a PMF – SEUMA (2016), na maioria das vezes, ocorrem lançamentos de esgotos tratados em corpos d'água de escoamento intermitente e incapazes de efetuar diluição, o que torna a disposição final destes sistemas inadequada. Vale lembrar que a forma isolada do sistema compreende os conjuntos habitacionais dos bairros periféricos. Além disso, ainda há o lançamento de efluentes não tratados nos corpos d'água, de forma clandestina, por assentamentos irregulares presentes nas adjacências da área que corresponde ao Parque.



LEGENDA





-  Delimitação do Parque Rachel de Queiroz
-  EE's adjacentes ao Parque Rachel de Queiroz
-  ETE's adjacentes ao Parque Rachel de Queiroz, com sistema de funcionamento isolado
-  Trecho do Parque Rachel de Queiroz

Figura 5.3: Delimitação do Parque Rachel de Queiroz com ETE's adjacentes (Google Earth, 2019. Adaptado pelo autor com base na delimitação de projeto fornecida pela PMF- SEUMA, 2016). Localização das ETE's de Fortaleza, disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/34-monitoramento-das-estacoes-de-tratamento-de-esgoto-ete>

5.2.1.1 Sistemas de Wetlands

Uma das propostas no projeto do Parque Rachel de Queiroz, foi a implantação de uma infraestrutura verde que pudesse amenizar a contaminação do recurso hídrico através do sistema de *wetlands* (ver figura 5.4).



Figura 5.4: Trecho 06 - Zona (em amarelo) do projeto onde serão feitas *Wetlands* (Google Earth, 2019 e adaptado com base na delimitação de projeto fornecida pela PMF- SEUMA, 2016)

O sistema caracteriza-se pela criação de zonas úmidas que armazenam águas pluviais vindas por escoamento superficial ou sistemas de drenagem, natural ou convencional. Dessa forma, se mantém o fluxo de águas superficiais durante os períodos de estiagem, além de tratar a poluição e possibilitar a criação de habitat para fauna e flora (EPA, 2004).

O projeto das *Wetlands* permite que as rugosidades, criadas ao longo do recurso hídrico existente, evitem o transporte de resíduos a jusante, além de garantirem a diminuição na velocidade de vazão da água. O acúmulo de resíduos sólidos ao longo do recurso hídrico é comum porque existem alguns pontos canalizados, o que aumenta a velocidade de vazão dos córregos e consequentemente o aumento das taxas de poluição.

Conforme o memorial do projeto da PMF – SEUMA (2016), o sistema de *Wetlands* consiste em lagoas de decantação, onde acumulam-se sedimentos, detritos e lixo; e lagoas de fitorremediação, onde macrófitas aquáticas fazem a decomposição das impurezas da água através de processo químico (ver figura 5.5).

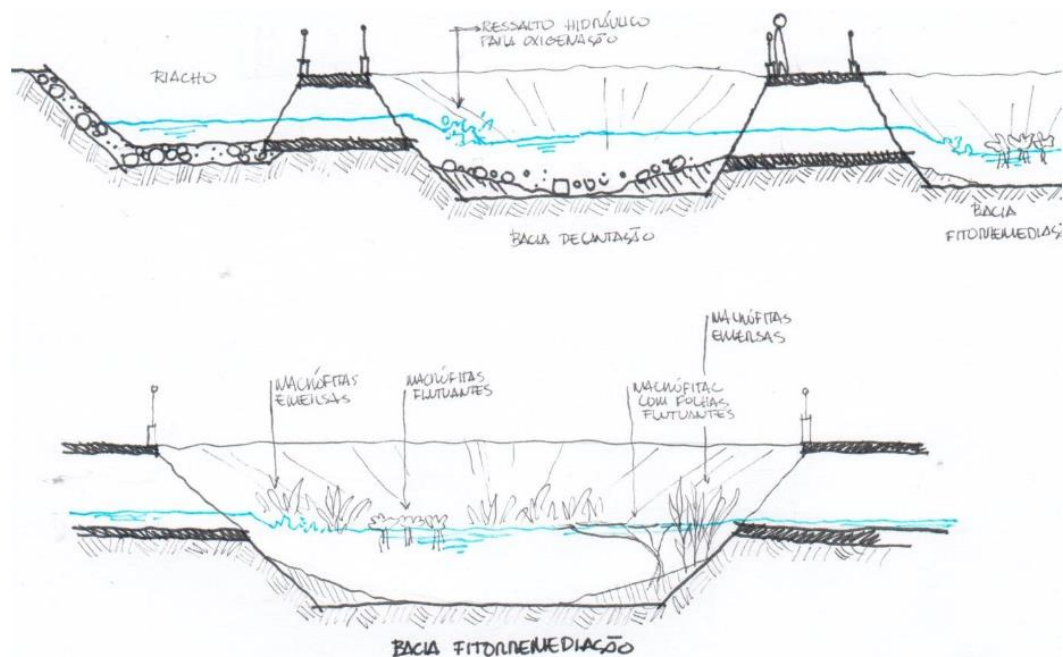


Figura 5.5: Cortes esquemáticos de funcionamento do sistema de Wetlands (PMF - SEUMA, 2016)



Figura 5.6: Trecho 06 – Projeto das Wetlands em programa de modelagem 3D (Sketchup e Lumion) (PMF - SEUMA, 2016)

Em virtude dos níveis de tratamento de águas residuais aplicados na cidade de Fortaleza, é importante ressaltar que para a USEPA existe potencial para melhoria da qualidade da água em sistemas de terras úmidas, como é o caso das *Wetlands*. Portanto, como forma de complementar o processo de tratamento já adotado pode-se considerar, conforme Metcalf & Eddy (2007), que as *Wetlands* são projetadas para receberem normalmente efluentes provenientes de tratamento secundário, e estas podem realizar tratamento equivalente ao terciário. Partindo desse ponto de vista, o ideal seria a aplicação das *Wetlands* como forma de tratamento complementar ao que já é aplicado na cidade de Fortaleza.

5.3 Simulação de avaliação de riscos pelo método semi-quantitativo

Contemplando o Parque Rachel de Queiroz como estudo de caso hipotético neste trabalho, a fim de dar mais consistência à avaliação de riscos proposta, foi elaborada uma matriz de simulação para avaliação de riscos (ver quadro 5.1), levando em consideração aspectos relacionados ao meio social e ambiental em questão.

Os elementos relativos às condicionantes e aos tipos de medida de controle foram adicionados ao modelo de avaliação pelo método semi-quantitativo, elaborado pela WHO, 2015, com a intenção de conferir mais objetividade à avaliação, no que se refere à disponibilidade de informações.

Quadro 5.1: Simulação de avaliação de riscos pelo método semi-quantitativo adaptado do Planejamento da Segurança do Saneamento (Adaptado de WHO, 2015)

Etapa de saneamento	Identificação do Perigo					Medida de controle existente		Avaliação do Risco Considerando a medida de controle existente P= probabilidade; S= severidade; R= Nível do risco			
	Condicionantes	Evento perigoso	Perigo	Via de exposição	Grupo exposto	Tipo de medida de controle	Descrição das medidas de controle existentes (abordagem de múltiplas barreiras)	P	S	Pontuação	R
Produção de resíduos	* Nível de tratamento das águas residuais; * Estado de saúde da população.	* Lançamento no ambiente de efluentes industriais sem tratamento local;	Compostos químicos.	* Inalação; * Contato com águas residuais sem tratamento de desinfecção química.	T	Tecnológica	Melhoria das regulamentações e fiscalizações sobre descarga de efluentes industriais e de unidades de saúde para minimizar o risco com compostos químicos.	4	2 ^b	8	Médio
		* Lançamento no ambiente de substâncias químicas hospitalares sem tratamento local;			F						
					L						

Etapa de saneamento	Identificação do Perigo					Medida de controle existente		Avaliação do Risco Considerando a medida de controle existente P= probabilidade; S= severidade; R= Nível do risco			
	Condicionantes	Evento perigoso	Perigo	Via de exposição	Grupo exposto	Tipo de medida de controle	Descrição das medidas de controle existentes (abordagem de múltiplas barreiras)	P	S	Pontuação	R
		* Uso e descarte de fármacos de forma descontrolada pelas pessoas.			C						
Transporte e drenagem	* Nível de tratamento das águas residuais; * Índices de pluviosidade.	Contaminação química por falhas do sistema ou acidentes.	* Todos os microrganismos patogênicos; * Compostos químicos.	* Vazamento por rotura na tubulação; * Contato das pessoas com canais abertos/ valas de drenagem.	T	Não tecnológica e comportamental	* Rede de tubulação separativa para águas residuais tratadas; * Quando o transporte for feito por veículo, que o reservatório deste seja utilizado somente para essa finalidade ou que tenha a desinfecção adequada; * Educação e promoção da segurança ao longo dos canais abertos/ valas de drenagem. * Uso de equipamentos de proteção individual pelos trabalhadores e agricultores.	3	8	24	Elevado
					F						
					L						
					C						

Etapa de saneamento	Identificação do Perigo					Medida de controle existente		Avaliação do Risco Considerando a medida de controle existente P= probabilidade; S= severidade; R= Nível do risco			
	Condicionantes	Evento perigoso	Perigo	Via de exposição	Grupo exposto	Tipo de medida de controle	Descrição das medidas de controle existentes (abordagem de múltiplas barreiras)	P	S	Pontuação	R
Tratamento e processamento	* Nível de tratamento das águas residuais; * Índices de pluviosidade.	Reprodução de mosquitos em água estagnada.	* Mau cheiro; * Doenças transmitidas por vetor.	* Inalação; * Picada de mosquito.	T L ^a	Tecnológica, não tecnológica e comportamental	* Tratamento dos efluentes o mais completo possível; * Proteção das instalações de tratamento e de armazenamento de águas residuais de animais e insetos vetores; * Pulverização ocasional; * Peixes que consomem larvas de mosquitos onde há águas expostas (ex. <i>Wetlands</i>); * Aplicação de agentes de controle biológico e químico; * Proibir atividades recreativas em lagoas de tratamento; * Realização de monitorização que controla o caudal, analisa a qualidade do efluente, etc; * Uso de equipamentos de proteção individual pelos trabalhadores.	5	8	40	Muito Elevado
Uso dos subprodutos de tratamento de águas residuais	* Nível de tratamento das águas residuais; * Custos de tecnologias.	Tratamento incompleto das lamas.	* Todos os microrganismos patogênicos; * Substâncias perigosas.	* Contato direto com lamas; * Manipulação das cinzas provenientes da incineração das lamas; * Inalação de gases produzidos.	T F	Tecnológica, não tecnológica e comportamental	* Uso de lamas até a etapa de inativação química (desinfecção); * Época de aplicação dos subprodutos de saneamento e de colheita dos produtos agrícolas; * Uso de equipamentos de proteção individual pelos agricultores.	4	4	16	Elevado

Etapa de saneamento	Identificação do Perigo					Medida de controle existente		Avaliação do Risco Considerando a medida de controle existente P= probabilidade; S= severidade; R= Nível do risco			
	Condicionantes	Evento perigoso	Perigo	Via de exposição	Grupo exposto	Tipo de medida de controle	Descrição das medidas de controle existentes (abordagem de múltiplas barreiras)	P	S	Pontuação	R
Rega e cultivo de produtos agrícolas	* Nível de tratamento das águas residuais; * Tipo de rede de drenagem; * Tipo de solo; * Temperatura; * Tipo de cultura; * Tipo de rega adotada;	Exposição a água de rega se esta for feita por aspersão;	* Todos os microrganismos patogênicos; * Compostos químicos.	* Consumo de plantas regadas com água reutilizada; * Contato com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada; * Inalação por exposição a aerossóis formados na rega por aspersão.	F	Não tecnológica e comportamental	* Práticas de rega segura; * Prevenção da formação de poças de águas residuais nos locais de aplicação para evitar reprodução de vetores; * Uso de equipamentos de proteção individual pelos agricultores; * Melhoria das práticas de higiene dos agricultores; * Culturas selecionadas; * Lavar e cozinhar os produtos após a colheita; * Campanhas educacionais e mudanças comportamentais na comunidade local.	3	4	12	Médio
					L						
					C						
Consumo ou uso do produto	* Nível de tratamento das águas residuais; * Tipo de cultura.	Consumo de produtos contaminados;	* Todos os microrganismos patogênicos; * Parasitas intestinais.	* Consumo de carne e outros produtos de animais alimentados com plantas regadas com água reutilizada;	L	Comportamental	* Lavar e cozinhar os produtos após a colheita; * Educação e promoção de boas práticas para preparação de alimentos em segurança.	3	8	24	Elevado
					C						

^a: Comunidade local que vive em zonas adjacentes às lagoas de decantação e fitorremediação (*Wetlands*);

^b: Obs: considerando 0,05mg/L de Cádmio como valor máximo admissível para águas residuais urbanas tratadas

LEGENDAS

O quadro que segue destaca os grupos expostos conforme as categorias listadas. Na simulação proposta o grupo mais exposto foi a comunidade local, seguido dos outros grupos.

Quadro 5.2: Grupos expostos ao risco (WHO, 2015)

Grupos expostos		
T	Trabalhadores	* Mantêm o sistema de esgotos; * Recolhem e transportam as lamas; * Operam a ETAR.
F	Agricultores	* Utilizam o efluente da ETAR.
L	Comunidade Local	* Vivem em zonas adjacentes a valas de drenagem; * Vivem em zonas adjacentes a explorações agrícolas que usam efluentes da ETAR; * Vivem em zonas adjacentes à estação de tratamento e usam água subterrânea.
C	Consumidores	* Consomem produtos agrícolas cultivados com água residual tratada; * Consomem frutas regadas com água residual tratada;

O quadro 5.3 é considerado em sua forma íntegra, segundo a fonte, a fim de balizar a classificação dos perigos ou eventos perigosos de acordo com os níveis preestabelecidos.

Quadro 5.3: Descrição para a avaliação semi-quantitativa do risco (WHO, 2015)

Classificação		Descrição
Probabilidade (P)		
1	Muito improvável	Não aconteceu no passado e é muito improvável que aconteça nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
2	Improvável	Não aconteceu no passado, mas pode ocorrer em condições excepcionais nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
3	Possível	Pode ter acontecido no passado ou pode ocorrer em condições normais nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
4	Provável	Tem sido observado no passado e é provável que ocorra nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
5	Quase certo	Tem sido frequentemente observado no passado e é quase certo que ocorra na maioria das situações nos próximos 12 meses (ou noutro prazo razoável).
Severidade (S)		
1	Insignificante	Perigo ou evento perigoso que não tem efeito ou é negligenciável na saúde, quando comparado com o que é habitual
2	Menor	Perigo ou evento perigoso que potencialmente tem um efeito reduzido na saúde (e.g., sintomas temporários tais como irritação, náusea, dor de cabeça)

Continua ...

Classificação		Descrição
4	Moderado	Perigo ou evento perigoso que potencialmente poderá ter um efeito na saúde limitado no tempo ou causar uma doença ligeira (e.g., diarreia aguda, vômitos, infecção do trato respiratório superior, pequeno traumatismo).
8	Maior	Perigo ou evento perigoso que potencialmente poderá resultar em doença ou lesão (e.g., malária, esquistossomose, trematodose de origem alimentar, diarreia crónica, problemas respiratórios crónicos, doenças neurológicas, fratura óssea); Ou pode levar a reclamações e originar alguma preocupação; Ou não conformidade maiores no cumprimento da regulamentação.
16	Catastrófico	Perigo ou evento perigoso que potencialmente poderá resultar em doença ou lesão grave, ou mesmo a morte (e.g., envenenamento grave, perda de extremidades, queimaduras graves, afogamentos); ou pode originar uma investigação do regulador com um provável processo jurídico

As escalas de pontuação de riscos (ver quadro 5.4) compreendem o produto final da avaliação de riscos no sentido de estimar a intensidade dos Riscos em questão. O resultado desta avaliação permite conclusões mais claras acerca das medidas a serem consideradas para uma adequada gestão dos recursos hídricos e mitigação dos efeitos adversos relativamente ao uso de águas residuais urbanas tratadas para determinados fins. No caso deste trabalho, o uso para irrigação.

Quadro 5.4: - Níveis de risco baseados no produto da probabilidade com a severidade (WHO, 2015)

Pontuação Risco= (P) x (S)	< 6	7 a 12	13 a 32	> 32
Nível de Risco	Baixo	Médio	Elevado	Muito elevado

6. Conclusões

Este estudo, feito com base em pesquisa bibliográfica, permitiu o entendimento de que a gestão da água é uma das pautas mais em voga no que se refere às incertezas da contemporaneidade, associadas às alterações climáticas tão recorrentes.

A crise hídrica aponta para investimentos em saneamento seguro ainda que seja muito complexo, haja vista a necessidade de uma gestão integrada, especialmente em áreas urbanas mais densas, pois exige o envolvimento de várias partes interessadas. Nesse panorama, diante do grande desafio na perspectiva do desenvolvimento sustentável para um bom gerenciamento dos recursos hídricos, a reutilização de água manifesta-se como estratégia essencial.

Apesar do conhecimento adquirido sobre as várias possibilidades de reutilização de água, a investigação voltou-se para a reutilização de águas residuais urbanas tratadas na irrigação, a fim de contemplar estruturas verdes urbanas. Diante disso, foi possível identificar efeitos positivos e negativos que impactam diretamente tanto na sociedade como no ambiente.

No que se refere aos efeitos negativos atribuídos ao uso de águas residuais, destaca-se a presença de microrganismos patogênicos e compostos químicos tóxicos, o que aponta para a importância em considerar-se o nível de tratamento dos efluentes. Relativamente aos níveis de tratamento, foi possível mensurar a qualidade dos efluentes e suas possíveis aplicações de uso através de parâmetros normalmente preestabelecidos por regulamentos ou normas.

Foi constatado que a gestão segura para a aplicação de águas residuais urbanas tratadas na irrigação é possibilitada por uma ampla avaliação de risco que considera de uma forma transversal os elementos relevantes à existência de risco, sejam eles diretos ou indiretos, a fim de configurar um produto para apoio aos legisladores e reguladores no processo de governança.

Considerando as legislações e regulamentos existentes no âmbito desta investigação, foi possível comprovar que a gestão ideal de recursos hídricos, a nível mundial, ainda está em processo de desenvolvimento. Alguns países possuem normatização que garante segurança na gestão, e vale ressaltar que nem todos são países desenvolvidos.

O Brasil foi escolhido não só para destacar que existem áreas com potencial para a aplicação da metodologia de investigação do presente estudo, como é o caso do Parque Rachel de Queiroz, mas também para revelar as inconsistências na legislação vigente, no que se refere as políticas públicas associadas a gestão de recursos hídricos do país.

Dentre as diferentes abordagens encontradas na literatura, foi considerada a avaliação semi-quantitativa de risco como a mais adequada ao estudo em questão em virtude do alcance mais amplo e acessível, relativamente às informações necessárias para a análise dos perigos e eventos perigosos. Além disso, outro motivo para a seleção desta abordagem foi porque considera-se que, diante da

complexidade do assunto, seja imprescindível uma análise de risco com o apoio de uma equipe interdisciplinar a fim de dar maior consistência ao gerenciamento de recursos hídricos.

A aplicação da avaliação de risco semi-quantitativa foi feita através de uma simulação no Parque Rachel de Queiroz, situado em Fortaleza-CE. Assim como o Planejamento da Segurança do Saneamento, elaborado pela Organização Mundial da Saúde, foi elaborada uma matriz de Avaliação de Riscos com o cruzamento de parâmetros a fim de comunicar o nível de risco de uma forma mais clara e objetiva. Entretanto, é importante salientar que diante da demanda por uma variedade de dados que possibilite uma avaliação de risco consistente e segura, fica claro que nenhuma metodologia deve ser utilizada isoladamente, ou seja, o nível de assertividade é mais provável com métodos complementares, como é o caso do método de avaliação de riscos por Avaliação quantitativa de risco microbiológico - QMRA, onde é possível contar com o apoio de programas de monitorização para dados quantitativos, além da aplicação de modelos matemáticos e outros métodos de análise mais exatos.

Os resultados obtidos com a simulação da Avaliação de Riscos da área supracitada, a partir da metodologia aplicada, demonstraram que o nível de risco varia entre médio a muito elevado, o que aponta para uma situação preocupante e que reflete a realidade local, marcada pela fragilidade da gestão de recursos hídricos.

Relativamente aos custos para a validação de uma Avaliação de Riscos no Parque Rachel de Queiroz, é necessário considerar os impactos que atingem os pilares do desenvolvimento sustentável, os quais compreendem o âmbito social, ambiental e econômico. Nesse sentido, tendo em vista que os riscos sociais estão diretamente ligados à saúde humana, é preciso considerar o nível de saneamento básico e tratamento de efluentes como fatores cruciais para a mitigação dos efeitos adversos ao homem e ao ambiente. O âmbito econômico já apresenta a influência quanto ao nível de investimentos que os legisladores e planejadores entendem como aplicáveis a este tipo de avaliação. No caso da cidade de Fortaleza, essa questão é delicada no sentido em que primeiramente é indispensável o acesso público de forma homogênea ao saneamento básico, para que depois sejam feitos investimentos financeiros em setores não menos importantes, com é o caso da Avaliação de Riscos mediante utilização de águas residuais urbanas tratadas.

Referências Bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação, RJ.

Alves, N.J.D. (2008). *Implementação de sistema de reutilização de águas residuais urbanas para rega de zonas verdes com elevado contacto humano*. (Dissertação de mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal.

ANA, Agência Nacional de Águas (2015a). Reúso da água agrícola e florestal: Aspectos gerais do reúso de água. Unidade 1. Disponível em: https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/84/10/Unidade_1.pdf

ANA, Agência Nacional de Águas (2015b). Reúso da água agrícola e florestal: Reúso de água e potenciais perigos e riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Unidade 4. Disponível em: https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/84/16/Unidade_4.pdf

Angelakis, A. N., e Snyder, S. A. (2015). Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. Water, vol. 7, pp. 4887-4895. doi:10.3390/w7094887.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2015). PENSAAR 2020 – Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais. Volume 2. Disponível em: https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Água/PlaneamentoGestao/PENSAAR2020/PENSAAR2020_Relatorio_Vol2.pdf

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2018). PENSAAR 2020 – Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais. Relatório #3. Disponível em: https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Água/PlaneamentoGestao/PENSAAR2020/2018_Relatorio_AG_PENSAAR_2020.pdf

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2019). Água para Reutilização – usos não portáteis. Em Conferência “Água – Novas Abordagens”. Disponível em: https://www.apambiente.pt/_zdata/Apresentacoes/2019/Apresentacoes_ConfAguaNovasAbordagens_reduce.pdf

Asano, T. (2002). Waste water reuse for non-potable applications. In: Gohrnguer, S. S. (2006). *Uso Urbano Não Potável de Efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. Estudo de Caso: Município de Campo Largo - PR*. 238 f. (Dissertação de Mestrado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brasil.

Belisário, G.Z. (2018). *Relações entre a qualidade da água de reúso produzida a partir de águas cinzas e a sua percepção por parte dos usuários*. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil.

Brüseke, F. (1996). Risco social, risco ambiental, risco individual. Papers do NAEA - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Universidade Federal do Pará. Disponível em: www.naea.ufpa.br

CAGECE – Companhia de Água e Esgotos do Ceará (2019). Disponível em: <https://www.cagece.com.br/produtos-e-servicos/esgoto/>

Cerqueira, L. L., Fadigas, F.S., Pereira, F.A., Gloaguen, T.V. e Costa, J.A. (2008). Desenvolvimento de heliconia psittacorum e gladiolus hortulanus irrigados com águas residuárias tratadas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 606 - 613.

Chang, A. C., Pan, G., Page, A.L., e Asano, T. (2001). Developing Human Health-related Chemical Guidelines for Reclaimed Waster and Sewage Sludge Applications in Agriculture. World Health Organization.

CONAMA, 2011. Resolução CONAMA Nº 430 DE 13/05/2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>

Dagnino, R.S. & Capri Jr. S. (2007). “Risco ambiental: conceitos e aplicações”. In Climatologia e Estudos da Paisagem. v. 2, n.2. Rio Claro. Disponível em: http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/Risco_Ambiental__Conceitos_e_Aplicacoes.pdf

Detoni, T.L. & Dondoni, P.C. (2008). A Escassez da água: um olhar global sobre a sustentabilidade e a consciência acadêmica. Rev. Ciênc. Admin., Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 191-204. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/rca/article/viewFile/20/pdf>

Diário da República Eletrónico. Decreto-Lei n.º 152/97. Disponível em: <https://dre.pt/web/guest/legislacao-consolidada-/lc/105742875/201909150148/diploma?consolidacaoTag=Ambiente&did=75044039&rp=indice>

Diário da República Eletrónico. Decreto-Lei n.º 236/98. Disponível em: <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/430457/details/normal?q=D%2FL+236%2F1998>

EC, 2019. Environment. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/>

Shakir, E., Zahraw, Z., e Al.-Obaidy, A. H. M. J. (2016). Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. Elsevier, 26, pp. 95-102. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003>

EPA – United States Environmental Protection Agency (2004). Constructed Treatment Wetlands. Disponível em: <https://www.epa.gov/wetlands/why-are-wetlands-important>.

Falkenmark, M., Berntell, A., Jägerskog, A., Lundqvist, J., Matz, M., e Tropp, H. (2007). On the verge of a new water scarcity: A call for good governance and human ingenuity. Stockholm: Stockholm International Water Institute.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (2012). Criar cidades mais verdes. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i1610p/i1610p00.pdf>

Florencio, L, Bastos, R. K. X, e Aisse, M. M. (2006). Tratamento e utilização de esgotos Sanitários. PROSAB –Edital IV. Recife: ABES. 427p.

Gerba, C. P., e Smith Jr, J. E. (2005). Sources of pathogenic microorganisms and their fate during land application of wastes. J Environ Qual, Vol. 32, pp. 42-48.

Grey, D., e Sadoff, C. W. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. Water Policy Nº 9, pp. 545-571

Hespanhol, I., e Prost, A.M.E. (1994). Who guidelines and national standards for reuse and water quality. Water Research. Vol. 28, Nº I, pp. 119-124.

Hespanhol, I. (2002). Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol.7, Nº 4, pp.75-95.

Hespanhol, I. (2008). Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. Estudos avançados. Vol.22, Nº 63, pp.131-158.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Meyer, L. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

ISO - International Organization Standardization (2013). ISO/TC 282 – Water reuse. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/4856734.html>

ISO - International Organization Standardization (2015a). ISO 16075-1:2015 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects – Part 1: The basis of a reuse project for irrigation. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/62756.html>

ISO - International Organization Standardization (2015b). ISO 16075-2:2015 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects – Part 2: Development of the project. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/62758.html>

ISO - International Organization Standardization (2015c). ISO 16075-3:2015 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects – Part 3: Components of a reuse project for irrigation. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/62759.html>

ISO - International Organization Standardization (2016). ISO 16075-4:2016 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects – Part 4: Monitoring. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/62760.html>

Lima, E., e Kollnberger, G. (2004). Recuperação de efluentes para reúso como água – Cases e resultados. Revista Meio Ambiente Industrial. Ano VIII. Ed. 48(47): 68 – 73. In: Gohrnguer, S. S. (2006). *Uso Urbano Não Potável de Efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. Estudo de Caso: Município de Campo Largo - PR*. 238 f. (Dissertação de Mestrado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brasil.

Lofrano, G., e Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. Science of the Total Environment. Vol. 408, pp. 5254–5264.

Metcalf & Eddy (1991). Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. 2nd Ed. Revisado por G. Tchobanoglous. Boston: Mc Graw-Hill Book.

Metcalf & Eddy (2007). Water Reuse – Issues, technologies and applications. Escrito por Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., e Tchobanoglous, G. Mc Graw-Hill, New York.

Mihelcic, J.R., Crittenden, J.C., Small, M.J., Shonnard, D.R., Hokanson, D.R., Zhang, Q., Chen, H., Sorby, S.A., James, V.U., Sutherland, J.W. e Schnoor, J.L. (2003). "Sustainability science and engineering: The emergence of a new discipline," Environmental Science & Technology 37, pp.5314–5324.

Monte, H. M., e Albuquerque, A. (2010). Reutilização de águas residuais. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos e Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. V.14.

Moruzzi, R. B. (2008). Reúso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios. OLAM – Ciência & Tecnologia, Ano VIII, Vol. 8, N.3, pp. 271-294, São Paulo, Brasil.

Navarro, I., Chávez, A., Barrios, J.A., Maya, C., Becerril, E., Lucario, S., e Jimenez, B. (2015). Diretrizes internacionais e regionais e regulamentos nacionais para a reutilização de águas residuais tratadas na irrigação. Wastewater Reuse for Irrigation – Practices, Safe Reuse and Perspectives. InTech Open Science: Muhammad Salik Javaid. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/irrigation-and-drainage-sustainable-strategies-and-systems/wastewater-reuse-for-irrigation-practices-safe-reuse-and-perspectives#B4>

Novotny, V., Ahern, J., e Brown, P. (2010). Water centric sustainable communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment. JohnWiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Oenning Júnior, A.; Pawlosky, U. (2007). Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 305 – 316.

Oliveira, R.P., Matos, J.S., e Monteiro, A.J. (2013). Managing the urban water cycle in a changing environment, 8th International Conference of EWRA, Porto, Portugal.

Pahl-Wostl, C., Jeffrey, P., Isendahl, N., e Brugnach, M. (2011). Maturing the New Water Management Paradigm: Progressing from Aspiration to Practice. Water Resour Manage, Vol. 25, pp. 837–856. DOI 10.1007/s11269-010-9729-2.

Pereira, C.L. (2017). *Avaliação da escassez de água e sua utilização para modelação da Taxa de Recursos Hídricos*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal.

Philip, R., Anton, B., Salian, P., e Loftus, A.C. (2011): Wastewater – Exploring the Options. Switch Training Kit Module 5. Integrated Urban Water Management in the City of the Future. Freiburg: ICLEI European Secretariat GmbH. Disponível em: http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/files/Modules/Module_reduced_size/Switch_Training_Kit_Module_5.pdf

Rebelo, F. (2003). Riscos naturais e acção antrópica. Coimbra: Imprensa da Universidade.

PMF – SEUMA (2014). Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza: Diagnóstico do Sistema de Esgotamento Sanitário Revisado. Disponível em: https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/infocidade/diagnostico_do_sistema_de_esgotamento_sanitario.pdf

PMF – SEUMA (2017a). Projeto de Desenvolvimento Urbano Sustentável em Fortaleza. Disponível em: https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/programas/pad_negociado_-_versao_portugues.pdf

PMF – SEUMA (2017b). Relatório de desenvolvimento OUC Rachel de Queiroz. Disponível em: https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/infocidade/negocios-urbanos/relatorio_de_desenvolvimento_da_operacao_urbana_consortada_rachel_de_queiroz.pdf

PMF - SEUMA (2017c). Manual operativo. Projeto Fortaleza Cidade Sustentável – FCS. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br>

Quintas, A.V. (2014). Gênese e evolução dos modelos de Estrutura Verde Urbana na estratégia de desenvolvimento das cidades. A obra nasce. n.8. pp.153-167. Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa.

Rezende, A.T. (2016). Reúso urbano de água para fins não potáveis no Brasil. Trabalho final de curso. Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais.

Rosa, M.J., e Ribeiro, R. (2019). Normas internacionais desenvolvidas para reutilização de água. Workshop “Águas para Reutilização”. Agência Portuguesa do Ambiente.

Schaer, M. B. (2012). *A percepção de agricultores familiares e formuladores de políticas – o reúso da água no semiárido baiano*. 285 f. (Tese de Doutorado). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Stenström, T.A., Seidu, R., Ekane, N., e Zurbrügg, C. (2011). Microbial exposure and health assessments in sanitation technologies and systems. Stockholm, Stockholm Environment Institute.

SWITCH (2006). SWITCH – Managing Water for the City of the Future. Disponível em: <http://www.switchurbanwater.eu/>

SWITCH (2010). SWITCH Approach to Strategic planning for Integrated Urban Water Management (IUWM). SWITCH - Sustainable Water Management in the City of the Future. Disponível em: http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/db/event_upload_folder/103/SWITCHstrategyplanningapproach28october.pdf

Tozoni-Reis, M.F.C. (2009). Metodologia da Pesquisa. 2ª edição. São Paulo.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency (1992a). Guidelines for Water Reuse. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, 625/R-92/004 (EPA). Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30004JK8.PDF?Dockey=30004JK8.PDF>

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency (1992b). Guidelines for exposure assessment. Federal Register 57(104):22888-22938. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/guidelines_exp_assessment.pdf

Veiga, L.H.S. & Fernandes, H.M. (1999). Avaliação de risco para a saúde humana e ecossistemas. In:Brilhante, O.M. & Caldas, L.Q.A. (coord.). *Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental* [online]. 155 p. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/ffk9n/pdf/brilhante-9788575412411-06.pdf>

Ventura, M.M. (2007). O estudo de caso como modalidade de pesquisa. *Revista SOCERJ*. 20(5): 383-386.

Viana, D. B. (2010). *Avaliação de Riscos Ambientais em Áreas Contaminadas: Uma Proposta Metodológica*. 152f. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Visão Geral da Diretiva de Águas Residuais Urbanas. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/>

WHO - World Health Organization (2006a). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Geneva, v. 1.: Policy and regulatory aspects. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg1/en/

WHO - World Health Organization (2006b). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Geneva, v. 2.: Wastewater use in agriculture. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg2/en/

WHO - World Health Organization (2009). Summary and policy mplications Vision 2030: the resilience of water supply and sanitation in the face of climate change. Disponível em: <http://www.who.int/iris/handle/10665/44172>

WHO - World Health Organization. (2015). Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta. World Health Organization. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789241549240_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y

WHO - World Health Organization. (2016). Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management. Disponível em:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/246195/9789241565370-eng.pdf;jsessionid=0E93C89725F1E3F9F995C6EDA4E2CB43?sequence=1>